



**UNIVERSIDADE
FERNANDO
PESSOA**

**Construir sobre o construído - Reutilização de edifícios
com o uso de sistemas de construção em madeira e derivados**

**[Building on what has been built - Reusing buildings using wood and
wood-based construction systems]**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Arquitetura

Ricardo De Brito

Orientador:

Prof. Doutor Daniel Félix

Agosto/2025



**UNIVERSIDADE
FERNANDO
PESSOA**

**Construir sobre o construído - Reutilização de edifícios
com o uso de sistemas de construção em madeira e derivados**

**[Building on what has been built - Reusing buildings using wood and
wood-based construction systems]**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Arquitetura

Ricardo De Brito

Orientador:

Prof. Doutor Daniel Félix

Agosto/2025



Universidade Fernando Pessoa

Dissertação do curso de Mestrado Integrado em Arquitetura

Construir sobre o construído

Reutilização de edifícios com o uso de sistemas de construção em madeira e derivados

Ricardo António Teixeira De Brito

Orientador: Prof. Doutor Daniel Félix

Esta dissertação faz parte dos requisitos da Universidade Fernando Pessoa para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Universidade Fernando Pessoa, agosto 2025

Assinatura Ricardo Brito X

À minha família

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de expressar a minha gratidão ao Prof. Doutor Arquiteto Daniel Félix, meu orientador, pelo seu apoio inabalável ao longo do meu percurso académico, como verdadeiramente merece. Estou confiante de que, sem ele, não conseguiria concluir esta dissertação com o mesmo nível de dedicação e da forma que pretendia. Na verdade, foi essencial a verbalização, a acessibilidade e a compreensão que demonstra consistentemente, não só durante o processo de execução da dissertação, mas também ao longo de todo o semestre. Toda a experiência desempenhou um papel crucial na minha formação na pessoa que sou agora profissionalmente.

Gostaria de agradecer a todos os professores que me apoiaram durante este percurso académico, em especial ao Prof. Doutor Miguel Branco pela sua ajuda na preparação desta dissertação.

Aos meus colegas, conjunto de professores e membros do corpo docente e não docente, agradeço pela troca de ideias, estímulo, colaboração, e, sobretudo, pelo apoio.

A seguir, quero expressar minha gratidão aos meus amigos e colegas que, independentemente do momento em que entraram em minha vida, sempre me trouxeram algo novo e mostraram que a amizade é um benefício que se adquire experimentando intensamente a vida. Este percurso foi ainda mais enriquecido por momentos de apoio, trabalho, conversa e diversão.

Por fim, quero expressar minha gratidão à minha família, pois eles constituem a base do meu ser. Aos meus pais, Cecília e António, que sempre me deram o apoio e a força necessários para realizar os meus sonhos, por me terem dado apoio quando eu sentia que ia desistir e por sempre me incentivarem a continuar. Eles são a fonte de minha existência atual.

Quero expressar minha gratidão, em particular, à minha irmã, Beatriz, por todos os momentos em que ela me ajudou e deu conselhos, que foram essenciais em várias fases deste percurso académico. Não esquecendo o meu irmão Eduardo, quero expressar a minha gratidão por todas as críticas e conselhos que sempre me deu.

Resumo

A indústria da construção civil constitui um dos principais setores com emissões de CO₂, sendo responsável por aproximadamente 28% das emissões globais. Esta taxa aumenta para 40% quando são consideradas as emissões de CO₂ resultantes dos materiais de construção. Neste contexto, o tipo de material utilizado na construção tem um impacto significativo na mitigação destas emissões. Em função disto e da escassez de recursos naturais, como a areia, o cascalho e os materiais para a produção de cimento, o uso da madeira na construção tornou-se uma alternativa cada vez mais atrativa.

De forma a reduzir ainda mais as emissões de carbono, é fundamental adotar uma abordagem mais sustentável. Em vez de demolir edifícios, deve-se considerar prolongar a sua vida útil, evitando a consequente emissão de milhares de toneladas de carbono na atmosfera. É possível restaurar os edifícios mantendo a sua função original ou optar pela reutilização adaptativa, onde o edifício é renovado para servir uma nova finalidade. Estas estratégias não apenas preservam recursos, mas também contribuem para um ambiente mais sustentável. Após o seu abandono, os edifícios deixam de receber a manutenção necessária, o que contribui para o seu progressivo estado de degradação e compromete, de igual modo o terreno onde estes se localizam. Esta realidade tem um impacto negativo na paisagem e na qualidade da cidade, além de representar um risco para os cidadãos.

A presente dissertação pretende abordar o potencial da reutilização de edificado existente, principalmente da tipologia equipamento, usando sistemas construtivos de derivados de madeira, promovendo assim a sustentabilidade e reabilitação de edifícios existentes. O estudo inicia-se com uma análise ao parque edificado em Portugal, para compreender e conhecer a realidade do mesmo, essencialmente no que diz respeito a edifícios devolutos. Em seguida, são estudados diversos sistemas construtivos à base de madeira e derivados, de modo a analisar, avaliar e compreender as suas vantagens e desvantagens para o uso na reabilitação dos edifícios. Deste modo, o estudo baseia-se numa recolha de dados e na análise das práticas da arquitetura na reabilitação, propondo a aplicação destas soluções, com base na análise da sua estrutura, construção e organização, procurando a interligação entre a reutilização e os derivados de madeira.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo é fornecer uma compreensão aprofundada neste tema. Visa-se assim, estabelecer uma base de conhecimento que abranja as condicionantes e vantagens, até agora analisadas no contexto atual, dos sistemas construtivos de madeira e seus derivados na reutilização de edifícios. Considera-se, por conseguinte, que a interligação entre estas soluções e a arquitetura, desde a conceção até à sua conclusão, revela-se crucial para o futuro da reabilitação e a sua sustentabilidade.

Palavras chave:

Reutilização, madeira e derivados, sistemas construtivos, reabilitação, sustentabilidade diversidade e flexibilidade de soluções.

Abstract

The construction industry is one of the main sectors contributing to CO₂ emissions, accounting for approximately 28% of global emissions. This figure rises to 40% when the emissions associated with construction materials are considered. Within this context, the type of material employed in construction plays a decisive role in the mitigation of such emissions. Due to this factor, and in light of the scarcity of natural resources such as sand, gravel, and raw materials for cement production, the use of timber in construction has become an increasingly attractive alternative.

In order to further reduce carbon emissions, it is essential to adopt a more sustainable approach. Rather than demolishing buildings, extending their lifespan should be prioritised, thereby preventing the release of thousands of tonnes of carbon into the atmosphere. Existing buildings can be restored while maintaining their original function or undergo adaptive reuse, in which they are renovated to accommodate a new purpose. These strategies not only preserve resources but also contribute to a more sustainable environment. Once abandoned, buildings no longer receive the necessary maintenance, which leads to their progressive degradation and simultaneously compromises the land they occupy. This condition negatively impacts both the landscape and the quality of the urban fabric, while also posing risks to citizens.

This dissertation seeks to explore the potential of reusing existing buildings, particularly those of an infrastructural typology, through the implementation of timber-based construction systems, thereby promoting both sustainability and the rehabilitation of the built environment. The study begins with an analysis of the building stock in Portugal in order to better understand its current condition, with particular focus on vacant buildings. Subsequently, various timber and timber-derived construction systems are examined, with the aim of analysing, assessing, and understanding their advantages and disadvantages in the context of building rehabilitation. Accordingly, the research is grounded in data collection and the study of architectural practices in rehabilitation, proposing the application of these solutions through the analysis of building structure, construction, and organisation, while seeking to establish connections between reuse and timber-based materials.

In this sense, the objective of the present study is to provide a comprehensive understanding of this subject. It aims to establish a knowledge base encompassing the constraints and advantages identified thus far regarding the use of timber and timber-derived construction systems in building reuse. It is therefore considered that the integration of these solutions into architectural practice, from conception through to completion, is crucial for the future of rehabilitation and its sustainability.

Keywords:

Reuse, wood and derivatives, construction systems, rehabilitation, sustainability, diversity and flexibility of solutions.

Índice Geral

Índice de figuras	VII
Índice de Gráficos	XIII
Siglas	XV
Introdução	01
I. Estado da Arte	07
1.1. Panorama atual do edificado em Portugal	09
1.2. Panorama florestal de Portugal	15
1.3. Sustentabilidade	21
1.4. Reabilitação/reutilização de edifícios	23
1.4.1. Desafios da reutilização de edifícios	25
1.5. Potencialidades da madeira e derivados	26
1.5.1. Madeira e Derivados – laminação e colagem	27
1.5.2. Tratamentos térmicos e de pressão	29
1.5.3. Agregação de partículas de madeira	31
1.5.4. Tratamento das superfícies	33
1.5.5. Curvaturas	33
1.5.6. Pré-tensionada	35
1.5.7. Novas soluções de ligadores	35
II. Madeira como material de construção	37
2.1. Madeira Maciça	41
2.2. Madeira e Derivados	43
2.2.1. Produtos com aplicação estrutural	46
2.2.1.1. Madeira Laminada Folheada (LVL)	46
2.2.1.2. Madeira de Fios Paralelos (PSL)	53
2.2.1.3. Madeira Laminada (LSD)	59
2.2.1.4. Madeira Lamelada Colada (MLC)	65
2.2.1.5. Vigas I (I-Joists)	71
2.2.1.6. Madeira Lamelada Colada Cruzada (CLT)	77
2.2.2. Produtos com aplicações Não Estruturais	83
2.2.2.1. <i>Medium Density Fiberboard</i> – (MDF)	83
2.2.2.2. Aglomerado de fibra Dura (HDF)	89

2.2.2.3. Aglomerados de partículas de madeira	93
2.2.2.4. Aglomerados de partículas de madeira ligadas com cimento (CBPB)	97
2.2.3. Produtos com aplicações Mistas	101
2.2.3.1. Aglomerados de partículas de madeira longas e orientadas (OSB)	101
2.2.3.2. Contraplacado - Plywood	109
III. Vantagens e desvantagens do uso da madeira e derivados na reutilização/ reabilitação de edifícios	115
3.1. Contexto atual do parque habitacional Português	117
3.2. Reutilização de edifícios com o uso de produtos derivados de madeira	117
3.3. Desafios a considerar no uso da madeira em Portugal	123
3.4. Cuidados a ter no uso da madeira	124
3.5. Perspectivas futuras da madeira na construção em Portugal	128
IV. Conclusão	129
V. Bibliografia	133
VI. Créditos das Figuras	141

Índice de figuras

I. Estado da Arte

Figura 01 - Pinheiro-Bravo	18
Figura 02 - Eucalipto	18
Figura 03 - Criação de uma nova cobertura (união entre o novo e o existente)	28
Figura 04 - Intervenção reversível dentro de um celeiro existente com o uso da madeira (novo dentro do existente)	28
Figura 05 - Laminação da madeira - MLC	30
Figura 06 - Colagem dos derivados da madeira	30
Figura 07 - Exposição da madeira a altas temperaturas em fornos	32
Figura 08 - Madeira termicamente modificada	32
Figura 09 - Fabrico do OSB	32
Figura 10 - Diferentes aglomerados nos mobiliários	32
Figura 11 - Técnica de carbonização da madeira	34
Figura 12 - Tratamento por lacagem	34
Figura 13 - Curvatura da madeira	36
Figura 14 - Exemplo de uma ligação tradicional	36
Figura 15 - Exemplo de uma ligação metálica	36

II. Madeira como material de construção

Figura 16 - Toro de madeira	42
Figura 17 - Pranchas de madeira	42
Figura 18 - Tratamento protetor da madeira em <i>Stain</i>	44

Figura 19 - Tratamento com uso de verniz	44
Figura 20 - Diferentes tipos de EWP	44
Figura 21 - Linha do tempo dos tipos de EWP	48
Figura 22 - Madeira laminada folheada (LVL)	48
Figura 23 - Uso do LVL numa estrutura de piso	48
Figura 24 - Ampliação da Lea Bridge Library - Escritório Estúdio Weave	52
Figura 25 - Peça de PSL	54
Figura 26 - Viga e coluna de PSL	54
Figura 27 - Pormenor da ligação da estrutura com o pilar de PSL	56
Figura 28 - Conexão do pilar PSL com a cobertura	56
Figura 29 - Renovação, ampliação e preservação da Arena Stage at Mead Center - Escritório Revery Architecture	58
Figura 30 - Peça de LSL	60
Figura 31 - Viga de LSL	60
Figura 32 - Uso de vigas LSL para a fixação dos painéis de vidro	62
Figura 33 - Estrutura em LSL numa cobertura	62
Figura 34 - Reutilização e ampliação do North Vancouver City Hall - Escritório Michael Green Architecture	64
Figura 35 - Colagem de uma viga MLC em forma curva	66
Figura 36 - Viga de MLC	66
Figura 37 - Reutilização do Palais Rameau -Escritório Atelier 9.81	70
Figura 38 - Viga I	72
Figura 39 - Uso de vigas I em estruturas de pavimento	72
Figura 40 - Viga I utilizada também como elemento decorativo	74

Figura 41 - Pormenor da ligação da viga I com a estrutura	74
Figura 42 - <i>Leica Gallery</i> Porto - Empresa Jular	76
Figura 43 - Peça de CLT	78
Figura 44 - Montagem de painéis de CLT para paredes e pisos	78
Figura 45 - Criação de uma nova estrutura em CLT num edifício existente	80
Figura 46 - Uso do CLT paredes, coberturas e portas	80
Figura 47 - Reutilização da Gare Maritime Brussels - Escritório Neutelings Riedijk Architects and Bureau Bouwtechniek	82
Figura 48 - Diferentes tipos de MDF	84
Figura 49 - Antes e depois do uso de MDF como revestimento	84
Figura 50 - N10-II Sports Facility - Escritório COMOCO Arquitetos	88
Figura 51 - Aglomerado de fibra dura com diferentes acabamentos	90
Figura 52 - Uso de HDF no fabrico de portas interiores	90
Figura 53 - Blue Bottle Coffee Daimaru Tokyo Café Stand - Escritório Schemata Architects	92
Figura 54 - Placas de Aglomerado de partículas em cru	94
Figura 55 - Uso de Aglomerado de partículas no revestimento de paredes	94
Figura 56 - Teikyo University Elementary School - Escritório Kengo Kuma	96
Figura 57 - Diferentes tipos de aglomerado de partículas de madeira ligadas com cimento	98
Figura 58 - Uso do CBPB em revestimentos	98
Figura 59 - Uso do CBPB no mobiliário	100
Figura 60 - Uso de painéis de CBPB em revestimentos e portas de carpintaria	100
Figura 61 - CIM - Mouraria Creative Hub - Escritório DNSJ.arq	102

Figura 62 - Placa de OSB	104
Figura 63 - Vários tipos de aplicação do OSB	104
Figura 64 - Uso do OSB na criação de vários tipos de mobiliário	106
Figura 65 - Possibilidade de pintar os painéis de OSB	106
Figura 66 - Revigrés Offices - Arquiteto Carlos Castanheira	108
Figura 67 - Painéis de contraplacado	110
Figura 68 - Mobiliário em contraplacado	110
Figura 69 - Reconversão da Ala Oeste do Antigo Colégio das Artes - CAV - Arquiteto João Mendes Ribeiro	114

III. Vantagens e desvantagens do uso da madeira e derivados na reutilização/reabilitação de edifícios

Figura 70 - Vários tipos ligadores tradicionais	126
Figura 71 - Reforço estrutural de vigas com o uso de varões e colas epoxy	126
Figura 72 - Vários tipos de ligadores metálicos	126

Nota Prévia

Com vista a facilitar e a assegurar o rigor na referência, as fontes das figuras utilizadas na presente dissertação foram reunidas no final do documento, na secção intitulada “Créditos das figuras”.

Índice de Gráficos

I. Estado da Arte

Gráfico 01 – Comparação do número de alojamentos e dos edifícios em Portugal entre 2011 e 2021	10
Gráfico 02 – Tipo de alojamento familiar clássico entre 2011 e 2021	10
Gráfico 03 – Comparação entre os diferentes tipos de alojamentos coletivos entre 2011 e 2021	12
Gráfico 04 – Época de construção do edificado português	12
Gráfico 05 - Dimensão da necessidade de reparação do edificado em Portugal - 2021	12
Gráfico 06 - Comparação entre o número de alojamentos coletivos de 2011 e 2021	14
Gráfico 07 - Alojamentos vagos por regiões em 2021	14

Siglas

EWP - *Engineered Wood Products*;

CO2 – Dióxido de carbono;

IEA - *International Energy Agency*;

INE – Instituto Nacional de Estatística;

IFN – Inventário Florestal Nacional;

Mm3 – Milhões de metros Cúbicos;

GLT - *Glued Laminated Timber (MLC)* – Madeira Lamelada Colada;

CLT - *Cross Laminated Timber (LCC)* – Madeira Lamelada Colada Cruzada;

LVL - *Laminated Veneer Lumber*;

TMT - *Thermally-Modified Timber*;

OSB - *Oriented Strand Board*;

MDF - *Medium Density Fiberboard*;

MDP - *Medium Density Particle*;

PSL – *Parallel Strand Lumber*;

LSL – *Laminated Strand Lumber*;

SWP – *Structural Wood Panels*;

HDF - *High Density Fiberboard*;

CBPB - *Cement-Bonded Particleboard*;

CNC – *Computer Numerical Control*;

Introdução

Atualmente, a indústria da construção apresenta-se como um dos principais responsáveis pelas emissões de CO₂, pela produção de resíduos, e como um forte consumidor de recursos naturais na União Europeia. Este setor enfrenta um desafio significativo, para se tornar mais sustentável. Esta realidade obriga a uma reavaliação urgente das práticas construtivas face aos crescentes desafios impostos pelas alterações climáticas e pela escassez de matérias-primas. Consequentemente, é fundamental promover a adoção de materiais de construção com baixo impacto ambiental, garantir uma melhor eficiência energética dos edifícios e a redução da produção de resíduos, reforçando a ideia da reutilização e da reciclagem na construção. Em Portugal, esta problemática alcança contornos especialmente prementes, dado o acentuado envelhecimento do parque habitacional, com cerca de 70% do edificado português construído antes de 1985, ou seja, atualmente com 40 anos. Contudo, persiste a preferência pela construção nova, o que resulta em inúmeros edifícios devolutos e em mau estado de conservação, realidade esta que tem um impacto negativo na qualidade de vida das cidades.

A reutilização de edifícios permite evitar gastos com demolições e novas construções, apresentando-se como uma solução potencialmente mais económica. Adicionalmente, esta abordagem permite responder às necessidades atuais da falta de habitação e de infraestruturas para apoiar as cidades. Permite, de igual modo, preservar a história dos edifícios mais emblemáticos e melhorar a paisagem urbana. Este processo implica a adaptação do uso das construções para responderem aos requisitos, normas técnicas e funcionais atuais, tornando os edifícios novamente atrativos e seguros para usufruto das pessoas. Neste contexto, a presente dissertação tem como objetivo investigar o potencial da reutilização de edifícios devolutos, com um especial foco na tipologia de equipamento, através da integração de sistemas construtivos derivados de madeira. A madeira e os produtos derivados da madeira, ou Engineered Wood Products (EWP), possuem a capacidade de reter e armazenar temporariamente o carbono durante o seu ciclo de crescimento nas florestas, sendo, por isso, reconhecidos como materiais de construção com potencial na mitigação do aquecimento global. Estes produtos (EWP) deram origem a um novo interesse pelo uso da madeira na construção em Portugal nos finais do século XX. Assim, após séculos de uso deste recurso natural na construção, verificou-se uma evolução significativa nas técnicas de produção, na durabilidade e, principalmente, nas suas potencialidades de aplicação arquitetónica. Atualmente a madeira emerge como um material estruturalmente eficiente e esteticamente mais atrativo, renovado e com novas possibilidades de aplicação na construção.

A motivação para escolha deste tema, tem um carácter pessoal, pelo facto do autor ter nascido e crescido na cidade de Paços de Ferreira, conhecida como Capital do Móvel, e de ter tido, desde pequeno, um grande contato com a madeira. Pertencendo a uma família ligada à construção civil, principalmente à marcenaria e carpintaria, lidou e trabalhou com esta matéria-prima, desde cedo, tornando-se, ao longo do tempo, um entusiasta das suas potencialidades.

Aprecia a forma como a mesma se integra nos edifícios, renovando o espaço através do seu cheiro, da sua textura e da sua aparência. Além disso, os edifícios antigos, pelas histórias que nos contam através da sua volumetria, da decoração e da organização dos espaços, e pela forma como marcavam a vida das pessoas que os utilizavam, sempre fascinaram o autor.

Para atingir o objetivo desta dissertação, realizou-se uma pesquisa através de artigos académicos, análise de livros, investigação em websites de escritórios de arquitetura, relatórios técnicos e exemplos de projetos realizados.

A metodologia adotada nesta dissertação é de abordagem mista: de interpretação e de demonstração. A primeira consiste na compreensão, com base em estudos feitos por autores e entidades, tanto sobre o parque habitacional e florestal português atual como sobre a potencialidade dos produtos derivados da madeira. Já a segunda apresenta uma variedade de produtos derivados da madeira e da sua aplicação em projetos que demonstram a validade da hipótese levantada.

A estrutura da presente dissertação divide-se em três capítulos. O primeiro capítulo foca-se numa componente mais teórica, que enquadra o estudo dos parques habitacional e florestal portugueses atuais. Adicionalmente, é neste capítulo que se desenvolve uma compreensão da ideia e do processo de reutilização e reabilitação de edifícios, apresentando igualmente os maiores desafios que este processo enfrenta. Este capítulo expõe e diseca as potencialidades dos derivados da madeira, descrevendo as suas novas e melhoradas propriedades para a sua utilização.

O segundo capítulo concentra a base prática, abordando uma análise mais detalhada da madeira maciça e dos produtos derivados da mesma, bem como sistemas construtivos à base deste recurso. Concebe-se uma contextualização inicial de cada produto e, posteriormente, são apresentadas as vantagens da sua utilização em vários tipos de construção. Os elementos gráficos que acompanham a descrição do projeto permitem, em paralelo, perceber como foi utilizado e o seu enquadramento no edifício.

No terceiro capítulo, após a análise aprofundada dos vários produtos, reúne-se toda a informação dos capítulos anteriores e reflete-se sobre o uso dos derivados da madeira na reutilização de edifícios existentes. Abordam-se as suas potencialidade, a forma como interagem com outros materiais, as principais vantagens e desvantagens, os desafios que enfrentam, os cuidados a ter na sua utilização e as perspetivas futuras do seu uso.

Por fim, temos a conclusão, onde se revisita o conteúdo apresentado nesta dissertação, com vista a determinar a concretização dos objetivos delineados, nomeadamente se os produtos derivados da madeira se revelam uma potencialidade para a resolução dos vários problemas identificados.

I. Estado da Arte

1.1. Panorama atual do edificado em Portugal

O ambiente construído em Portugal é formado por um conjunto diversificado e heterogéneo de edifícios, com características e necessidades energéticas muito variadas. Cerca de 70% dos edifícios existentes foram construídos antes de 1985, quando os requisitos de eficiência energética eram significativamente menores. Esta realidade apresenta vários desafios, mas também oportunidades, para a modernização e descarbonização do parque edificado português.

De acordo com os Censos de 2021, realizados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), o parque habitacional existente é composto por 3 573 416 edifícios¹ e 5 981 482 alojamentos². Em comparação com os Censos de 2011 (Gráfico 01), o número de edifícios aumentou 0,8%, enquanto que o número de alojamentos aumentou 1,7%. Mesmo com este aumento, houve um abrandamento significativo no crescimento do parque habitacional o que, segundo o estudo de 2021, revela um crescimento visivelmente inferior já que, nas décadas anteriores, o crescimento dos edifícios era superior a 10% e o dos alojamentos entre 16,3% e 25% (INE, 2022).

Conforme os Censos de 2011, o total de alojamentos em Portugal era de 5 878 756. Destes, 5 866 152 eram alojamentos familiares³, sendo que destes 5 859 540 eram alojamentos familiares clássicos⁴ (Gráfico 02) e 6 612 alojamentos familiares não clássicos⁵.

¹ **Edificado** - construção permanente, dotada de acesso independente, coberta e limitada por paredes exteriores ou paredes-meias que vão das fundações à cobertura e destinada à utilização humana ou a outros fins.

² **Alojamento** - local distinto e independente que, pelo modo como foi construído, reconstruído, ampliado, transformado ou está a ser utilizado, se destina a habitação com a condição de não estar a ser utilizado totalmente para outros fins no momento de referência.

³ **Alojamento Familiar** - alojamento que, normalmente, se destina a alojar apenas um agregado doméstico privado e não é totalmente utilizado para outros fins no momento de referência.

⁴ **Alojamento Familiar Clássico** - alojamento familiar constituído por uma divisão ou conjunto de divisões e seus anexos num edifício de caráter permanente ou numa parte estruturalmente distinta do edifício, devendo ter uma entrada independente que dê acesso direto ou através de um jardim ou terreno a uma via ou a uma passagem comum no interior do edifício (escada, corredor ou galeria, entre outros).

⁵ **Alojamento Familiar Não Clássico** - alojamento que não satisfaz inteiramente as condições do alojamento familiar clássico pelo tipo e precariedade da construção, porque é móvel, improvisado e não foi construído para habitação, mas funciona como residência habitual de pelo menos uma família no momento de referência (INE, 2022).

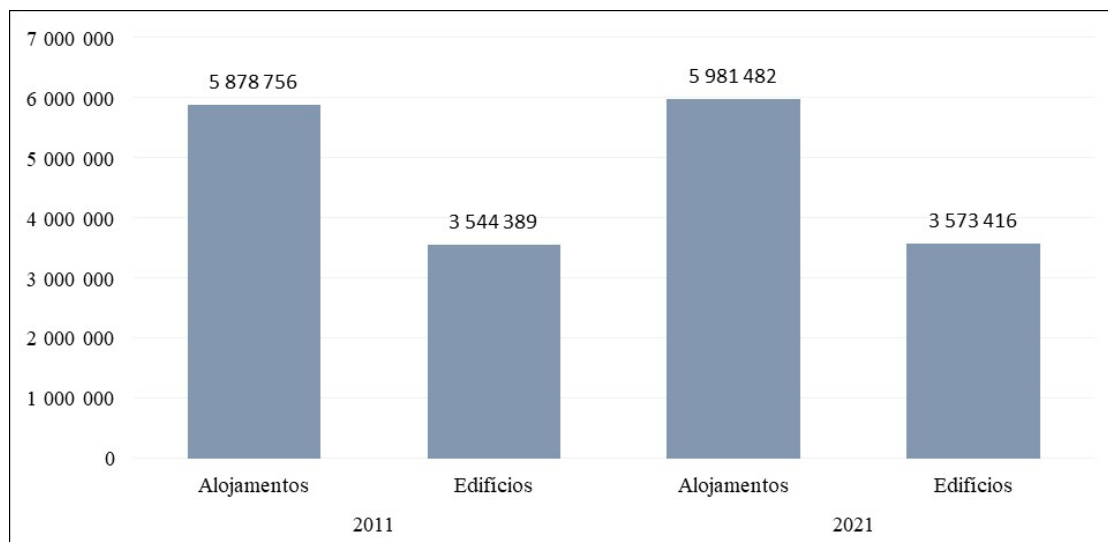


Gráfico 01 - Comparação do número de alojamentos e dos edifícios em Portugal entre 2011 e 2021

Fonte – Elaborado pelo autor

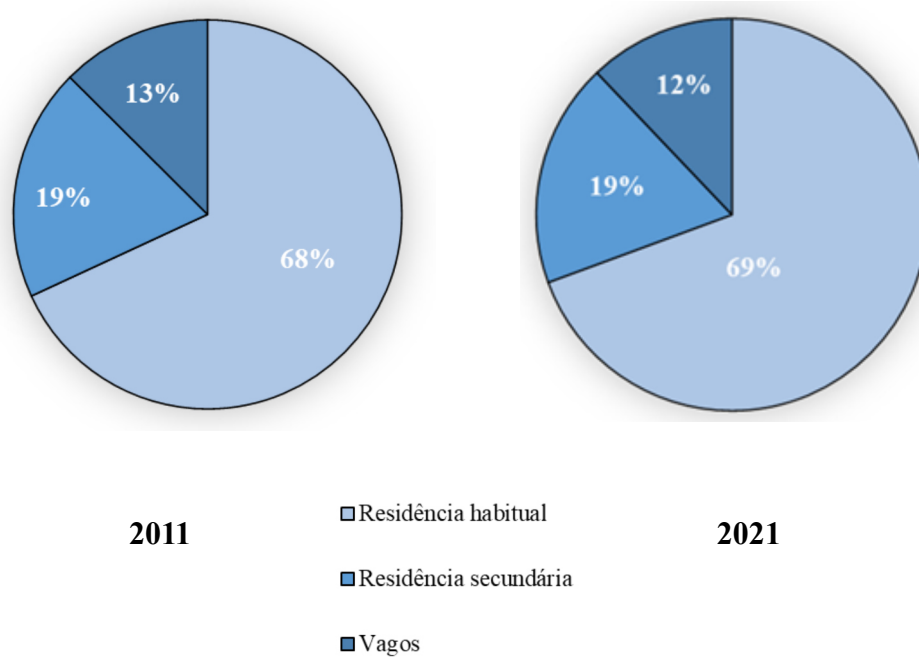


Gráfico 02 - Tipo de alojamento familiar clássico entre 2011 e 2021

Fonte – Elaborado pelo autor

As restantes tipologias de alojamento incluem alojamentos coletivos⁶, que englobam estabelecimentos hoteleiros ou equivalentes e de convivências. Dentro deste último, estão ainda incluídas as infraestruturas de apoio social, militares, prisionais, religiosos, de saúde e com outro tipo de uso (INE, 2012).

No período de 2012 a 2021, o número de alojamentos aumentou para 5 981 482, sendo que, 5 974 719 são alojamentos familiares. Destes, 5 970 677 eram alojamentos familiares clássicos, e 4 042 eram alojamentos familiares não clássicos. Dos restantes tipos foram construídos 6 763 alojamentos coletivos, que incluem 706 estabelecimentos hoteleiros e equivalentes e 6 057 de convivências, que incluem 4 081 de apoio social, 196 militares, 163 prisionais, 643 religiosos, 314 de saúde e, por fim, 856 com outro tipo de uso (Gráfico 02 e 03).

Dos 3 573 416 edifícios existentes em Portugal em 2021, 174 200 foram construídos antes de 1919, 652 924 entre 1919 e 1960, 1 548 950 entre 1961 e 1990, 557 048 entre 1991 e 2000, 529 510 entre 2001 e 2010, 49 449 entre 2011 e 2015 e, por último, 61 335 entre 2016 e 2021. Esta análise demonstra que 66,5% do edificado português foi construído antes de 1990, 15,6% entre 1990 e 2000, 14,8% entre 2001 e 2010 e só 3,1% (110 784) entre 2011 e 2021, constatando o envelhecimento do parque edificado em Portugal (Gráfico 04). Pode-se assim comprovar que entre 1961 e 1990 registou-se a maior construção de edifícios, sendo que esse edificado atualmente tem idades que variam entre 34 e 63 anos. (INE, 2022).

De acordo com o índice de envelhecimento⁷ da construção em Portugal, este situa-se em 747 edifícios, o que significa que, para cada 100 edifícios construídos após 2011, existem 747 construídos até 1960. Verifica-se que o índice de envelhecimento mais acentuado é no Alentejo com 1 626 edifícios, seguido da região Centro com 885 edifícios. Com um índice mais baixo, encontra-se o Norte com 551 edifícios. Relativamente aos arquipélagos dos Açores e à Área Metropolitana de Lisboa, os números variam entre 627 e 683, respetivamente.

Conforme os censos de 2021, 64,2% do edificado designado para o uso habitacional não precisa de reparações. Ao contrário de 35,8% (1 278 826) que carece de reparações, sendo que 21,8% (780 126) são reparações ligeiras, 9,4% (335 599) requerem reparações médias e 4,6% (163 101) precisam de reparações profundas (Gráfico 05).

⁶ **Alojamento coletivo** - Alojamento que se destina a albergar um grupo numeroso de pessoas ou mais do que uma família e que no momento de referência está em funcionamento, ocupado ou não por uma ou mais pessoas, independentemente de serem residentes ou apenas presentes (INE, 2012).

⁷ **Índice de envelhecimento** - Rácio entre o número de edifícios construídos até 1960 e o número de edifícios construídos após 2011 (INE, 2021).

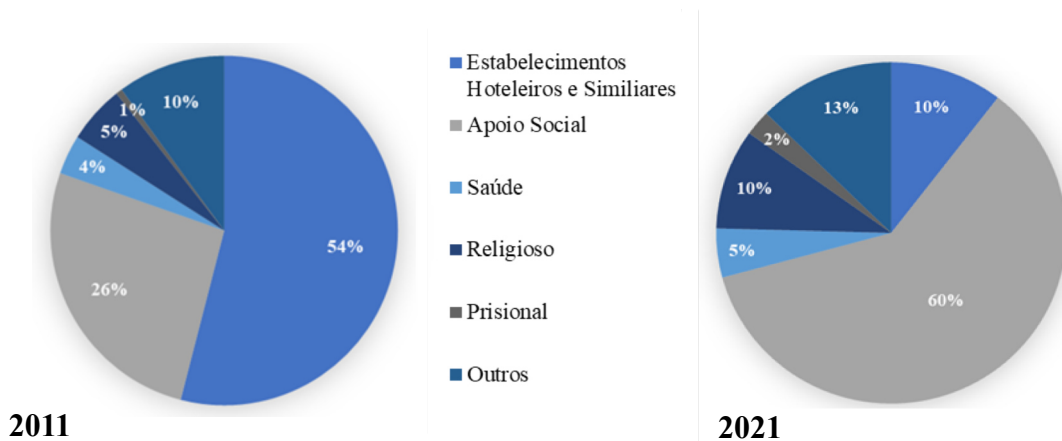


Gráfico 03 - Comparação entre os diferentes tipos de alojamentos coletivos entre 2011 e 2021

Fonte – Elaborado pelo autor

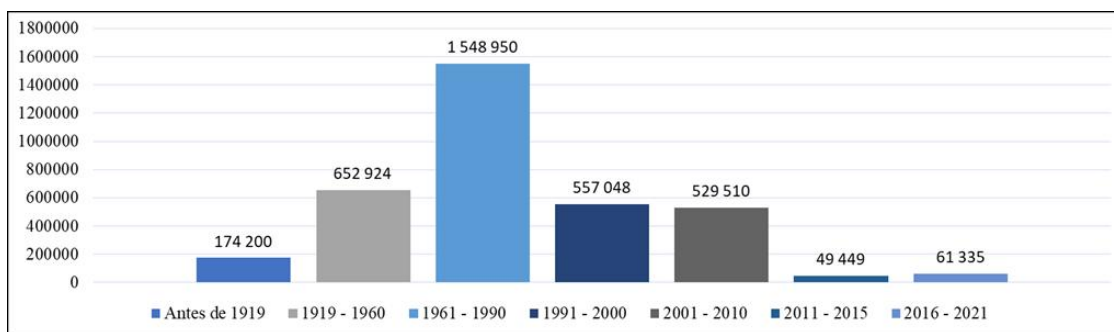


Gráfico 04 - Época de construção do edificado português

Fonte – Elaborado pelo autor

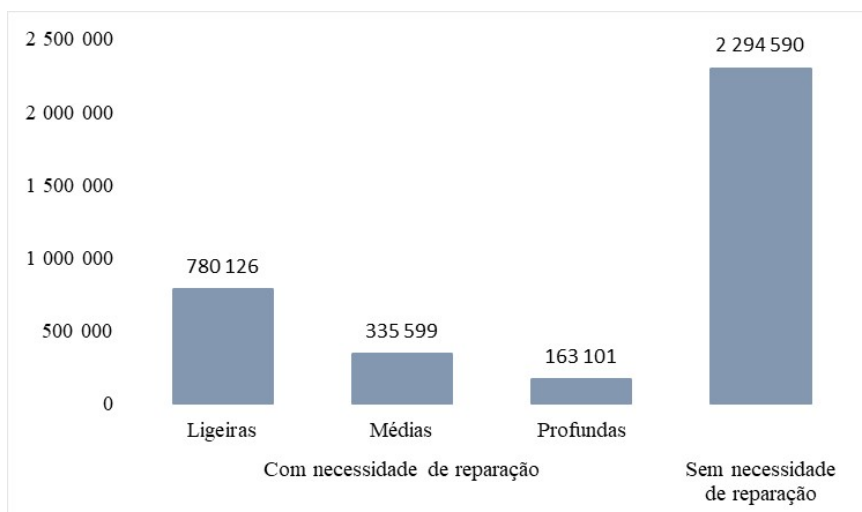


Gráfico 05 - Dimensão da necessidade de reparação do edificado em Portugal - 2021

Fonte – Elaborado pelo autor

A região do Alentejo Central, Baixo Alentejo e o Algarve são as que apresentam edificado em melhores condições, com percentagens de 75,1%, 71,6% e 70,7%, respetivamente, de edifícios que não necessitam de reparações.

Já a região de Coimbra, a região Autónoma da Madeira e a Área Metropolitana do Porto, apresentam as maiores percentagens de edificado que necessitam de reparações com 43,5%, 43% e 41,3% respetivamente (INE, 2022).

Em relação aos alojamentos familiares clássicos, dos 5 970 677, apenas 3,3% (197 066) se situam em edifícios que requerem reparações profundas. Dos alojamentos familiares que necessitam reparações profundas, apenas cerca de 1,4% (57 465) são de primeira habitação, já 2,8% (30 682) são de residência secundária.

No caso dos 723 215 alojamentos vagos, 15,1% (108 919) precisam de reparações profundas (INE, 2023). Dos alojamentos familiares clássicos que precisam de reparações profundas, sensivelmente metade, (55,3%), encontram-se vagos, enquanto 29,2% estão a ser utilizados como residência habitual, e 15,6% como residência secundária (INE, 2023).

Segundo a classificação na lei em vigor desde 2006, um edifício é devoluto quando se considera devoluto o prédio urbano ou a fração autónoma que durante um ano se encontre desocupada, sendo indícios de desocupação a inexistência de:

- Contratos em vigor com empresas de telecomunicações, fornecimento de água, gás e eletricidade;
- Inexistência de faturação relativa a consumos destes serviços (Portugal, 2023).

Segundo os Censos de 2021, os alojamentos vazios, devolutos, sem moradores, desocupados ou degradados (disponíveis para venda, arrendamento ou demolição), representam um total de 723 215 (12,1%) alojamentos familiares nesta situação (Gráfico 06 e 07), mais do que em 2001, que possuía 543 777 (INE, 2001).

De acordo com Luís Mendes, citado por Araújo (2020), estima-se que existam, entre 730 000 e 750 000 edifícios vazios. Contudo, nas últimas décadas, este número tem vindo a aumentar, devido sobretudo à mentalidade do mercado da construção civil bastante direcionada para a construção nova, aumentando, por consequência, os alojamentos vagos⁸, desocupados ou de segunda residência (INE, 2023; Alas, 2013).

⁸ **Alojamento Vago** – alojamento familiar desocupado e que está disponível para venda, arrendamento, demolição ou outra situação no momento de referência (INE, 2022).

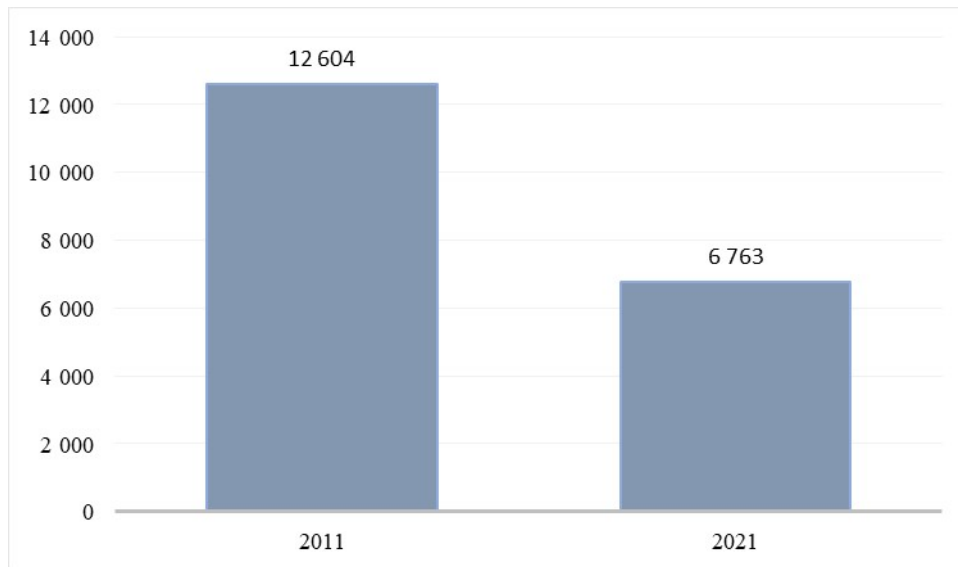


Gráfico 06 - Comparação entre o número de alojamentos coletivos de 2011 e 2021

Fonte – Elaborado pelo autor

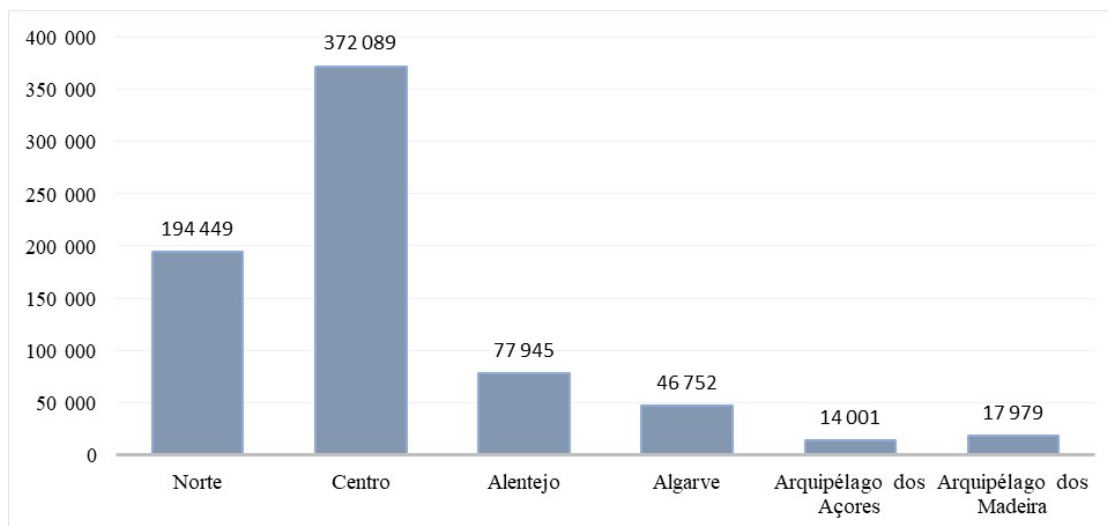


Gráfico 07 - Alojamentos vagos por regiões em 2021

Fonte – Elaborado pelo autor

Os distritos do Porto e de Lisboa são os mais afetados por esta ocorrência, sendo que as outras capitais dos distritos também estão sujeitas a este fenómeno (INE, 2023; Araújo, 2020).

Em 2023, foram licenciados 4 750 edifícios para obras de reabilitação, representando um aumento de 5,0% em relação a 2022 (4 524 edifícios). Por sua vez, 2022 registou uma queda de 9,2% em comparação ao ano anterior.

O número total de obras de reabilitação concluídas em 2023 teve uma diminuição de 9,1% em relação a 2022, totalizando 3 045 edifícios. Por sua vez, em 2022, verificou-se uma queda de 8,1% no número de edifícios reabilitados em comparação com o ano anterior (3 312).

O prazo médio para a conclusão de uma construção nova é de 21 meses, superior aos 12 meses previstos para obras de reabilitação (INE, 2024). No que diz respeito à construção nova, a Região Norte apresenta um prazo mais longo, com uma estimativa de 25 meses para concluir a obra. Por sua vez, nas regiões Autónomas da Madeira e dos Açores o prazo é mais curto, sendo este de 12 meses.

Quanto às obras de reabilitação, que englobam obras de ampliação, alteração e reconstrução, a Região Norte continua a apresentar os prazos mais altos: com 18 meses para obras de ampliação, 19 meses para obras de alteração e 22 meses para obras de reconstrução. A Região Autónoma da Madeira destaca-se pelo menor prazo médio previsto para obras de ampliação (7 meses), enquanto que a Grande Lisboa apresenta o menor prazo (6 meses) para obras de alteração (INE, 2024).

1.2. Panorama florestal de Portugal

Apesar da aparente associação da indústria de produção e transformação da madeira ao principal problema da desflorestação, esta afirmação não corresponde à realidade. Estudos comprovam que as principais causas da desflorestação são a agricultura extensiva, a ocupação urbana e os incêndios florestais.

Quando realizada de forma sustentável, a exploração madeireira pode, na verdade, ajudar a proteger as florestas. O abate de árvores pode ser compensado com plantações proporcionais, ou superiores no seu lugar.

Esse processo resulta num maior número de árvores jovens, que são mais eficientes na absorção de CO₂ do que as árvores mais antigas (Silva, 2014).

Este método já é implementado pela Suécia e tem sido reconhecido por obter resultados muito positivos com a sua prática de exploração florestal. A abordagem sueca demonstra que é possível equilibrar a exploração madeireira com a conservação ambiental, promovendo florestas mais saudáveis e contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (Silva, 2014). Além disso, o uso de madeira vinda de florestas geridas de modo sustentável pode prevenir incêndios em períodos de risco elevado, evitando assim desastres como o de Pedrógão Grande em 2017.

Atualmente, Portugal enfrenta uma escassez deste recurso, o que provoca a compra fora do país, apesar das florestas ocuparem mais de um terço do território nacional (36%), o que corresponde a aproximadamente 3 154 800 hectares.

Esta dependência da importação anual por parte das empresas do setor da madeira pode ser mitigada pelo aumento da produção florestal em Portugal (Florestas, 2022; Silva, 2014; ICNF, 2015).

Segundo o INE, em 2021, houve mais 2,3 milhões de toneladas desta matéria-prima em bruto importadas para Portugal, o que corresponde a um total de 212,9 milhões de euros gastos. Em relação à madeira serrada, madeira folheada e de lenhas o valor é mais impactante, com 95,7 mil de euros para a madeira serrada e 323 mil de euros para a folheada em 2021 (Florestas, 2022).

Este sector contabiliza mais de dezassete mil empresas, originando cerca de cem mil empregos em Portugal, sobretudo nas regiões do Norte e Centro. Contudo, o elevado número de importações, resulta em gastos significativos no exterior, o que pode comprometer postos de trabalho e receitas económicas, e afeta particularmente as zonas rurais e periurbanas, onde o sector florestal assume uma grande contribuição e tem um papel dinamizador, tanto ao nível social como económico. Apesar disso, as exportações de materiais e produtos à base florestal, transformados pela indústria, têm conseguido manter a balança comercial internacional deste sector com saldo positivo.

Em 2021, registou-se um valor superior a 2,7 mil milhões de euros, o que ultrapassa os 2,3 mil milhões de anos anteriores. Isto ocorre mesmo com o aumento das importações da madeira em bruto, que continua a ser um fator penalizador (Florestas, 2022).

Verifica-se, adicionalmente, que em Portugal, a produção de madeira em bruto (total de espécies) registou um acréscimo, apesar do aumento paralelo das importações (Florestas, 2022).

Segundo dados do *Eurostat* (Gabinete de Estatísticas da União Europeia), a produção de madeira em Portugal registou cerca de 10 milhões de metros cúbicos sem casca em 2011 e 2013, valor que subiu para 13 milhões de metros cúbicos entre 2016 e 2020. Por outro lado, o volume de madeira em crescimento no país, de acordo com a mesma fonte, atingiu 171 milhões de metros cúbicos até 2015 (último ano com dados disponíveis).

Várias associações do setor, como a AIMMP (Associação das Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal), têm alertado para a escassez crescente de madeira e para as consequências negativas que esta situação poderá ter na economia portuguesa, incluindo o encerramento de várias empresas.

O Centro *Pinus* indica para a existência de um “défice estrutural de madeira”. De acordo com os indicadores de 2021, a quantidade de madeira acessível para corte nas florestas nacionais corresponde a apenas 57% do consumo industrial. Neste ano, o défice ultrapassou os 2,3 milhões de metros cúbicos (Mm³), enquanto que o consumo total situou-se nos 4,1 milhões de metros cúbicos (Florestas, 2022).

As madeiras mais utilizadas pelas indústrias de transformação, com origem em florestas portuguesas, são o pinheiro-bravo (*Pinus Pinaster*), espécie autóctone de Portugal, e o eucalipto (*Eucalyptus globulus*) (Figura 01 e Figura 02).

A madeira de pinho, derivada do pinheiro-bravo, possui diversas aplicações em diferentes sectores. É utilizada em painéis de aglomerados de partículas, MDF (*Medium Density Fiberboard*) e compósitos, que combinam as partículas de madeira, derivados de madeira, a outros materiais, além de serem usadas em estruturas de construção civil, papel e *pellets*. Já a madeira de eucalipto é mais utilizada na produção de pasta para os vários tipos de papel, como papel higiénico e o de cozinha.

Contudo, também pode ser empregue para aplicações mais tradicionais, como travessas para caminhos de ferro ou estruturas para a construção de minas. Recentemente, ganhou novas utilizações, como embalagens mais sustentáveis para substituir materiais de origem fóssil e soluções de celulose bacteriana para a indústria alimentar e cosmética.

Com menos informação disponível, outras espécies nas florestas nacionais, também são utilizadas para produção e consumo nacional e internacional.



Figura 01 - Pinheiro-Bravo



Figura 02 - Eucalipto

Como, por exemplo, o carvalho-alvarinho (*Quercus robur*), carvalho-negral (*Quercus pyrenaica*), castanheiro (*Castanea sativa*), cedro-do-buçaco (*Cupressus lusitanica*), cerejeira (*Prunus avium*), choupo (*Populus alba*), criptoméria (*Cryptomeria japonica*), freixo (*Fraxinus angustifolia*), noqueira (*Juglans regia*), pinheiro-silvestre ou pinheiro-de-casquinha (*Pinus sylvestris*), plátano (*Platanus hybrida*) e vidoeiro (*Betula celtiberica*).

Cada tipo de madeira apresenta propriedades diferentes, sendo que cada uma tem aplicações mais adequadas em diferentes produtos, desde elementos estruturais de construção, revestimentos de piso, tetos e paredes, pisos, mobiliário, elementos decorativos, equipamentos exteriores, folheados e lamelados (Florestas, 2022).

Apesar de um terço do território nacional ser ocupado por zonas florestais, Portugal ainda enfrenta uma escassez de madeira, devido aos seguintes fatores:

- **Propriedades florestais com dimensões reduzidas (principalmente nas regiões do Norte e Centro):** baixa produtividade, proprietários desconhecidos e falta de escala para rentabilização;
- **Falta de gestão florestal profissional:** falta de planeamento, o que reduz a produtividade, aumenta o risco de incêndios e favorece a acumulação de vegetação (combustível que intensifica os incêndios);
- **Despovoamento rural:** envelhecimento da população, que resulta no abandono das florestas;
- **Alterações climáticas:** fenómenos extremos, como secas, um aumento de pragas e doenças, que obrigam ao abate de árvores e à dispersão da madeira, afetando a resiliência e a integridade da floresta. Além disso, o aumento da área ardida torna a madeira inutilizável para aplicações industriais (Florestas, 2022);

Apesar de Portugal conseguir produzir produtos como o Glulam⁹ e a madeira lamelada colada cruzada (CLT), o consumo nacional ainda depende significativamente da importação do exterior (Florestas, 2024).

O projeto EGURALT, por exemplo, propõe a aplicação, divulgação e desenvolvimento de soluções inovadoras para a promoção da construção em madeira em altura no espaço SUDOE¹⁰.

⁹ **Glulam:** o termo Glulam constitui uma designação alternativa para a Madeira Lamelada Colada (MLC) (Migliani, 2019);

¹⁰ **SUDOE:** o programa Interreg SUDOE configura-se como uma iniciativa de cooperação territorial da União Europeia, cujo principal designio reside na promoção do desenvolvimento regional na região do sudoeste europeu (UE, s.d);

Este projeto estudou o uso de espécies de madeira de baixo valor comercial, envolvendo espécies como choupo e faia de segunda qualidade, para produzir Glulam, e avaliou o seu desempenho em comparação com outras espécies, como o pinheiro, e até com o betão na produção de CLT (Florestas, 2024).

Em Portugal, na última década, o SerQ (Centro de Inovação e Competências da Floresta), em parceria com a Universidade de Coimbra, tem desenvolvido o potencial uso do pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*) - espécie autóctone com mais presença no país, para a produção de diversos elementos estruturais.

Entre as aplicações estudadas estão os postes para linhas aéreas, toros com e sem torneamento para diversas aplicações como barreiras acústicas, classificação mecânica da Madeira serrada e desempenho de colagem para CLT, e glulam com diversos tipos de colas (Florestas, 2024).

Segundo o investigador Carlos Martins (2024), estes estudos demonstram um excelente desempenho mecânico do pinheiro-bravo, registando um comportamento equivalente ou superior ao de espécies resinosas mais procuradas ao nível europeu, como a madeira de abeto e a de casquinha. Contudo, para que estas espécies possam ser utilizadas nos produtos de CLT ou glulam, é necessário que cumpram a regulamentação existente, nomeadamente a classificação por via de classes resistentes.

Um outro estudo, também realizado pela Universidade de Coimbra em parceria com a SerQ e a Fundação CeseFor, em Espanha, testou o uso do eucalipto à tração em elementos glulam e CLT. Esta metodologia proposta foi aprovada pelo Comité Técnico de Estruturas de Madeira (CEN/TC124/WG2), organismo europeu competente na área (Florestas, 2024).

A prática da exploração florestal sustentável é muito utilizada em países como a Austrália, a Escandinávia e a América do Norte, com 90% das construções de habitação a serem feitas de madeira, ou ainda a Suécia, como mencionado anteriormente. Portugal tem potencial para adotar o método de exploração florestal sustentável, já que possui inúmeras zonas florestais (36%).

No entanto, muitas destas áreas encontram-se abandonadas e sem manutenção, aumentando o risco de incêndios florestais. Além disso, a maioria da madeira utilizada no país é importada, o que provoca um gasto significativo na sua compra, quando se poderia investir numa prática mais sustentável.

Tal investimento revelar-se-ia viável, tendo em conta a existência de espécies arbóreas nacionais adequadas à produção de derivados de madeira, beneficiando simultaneamente a economia e os ecossistemas florestais.

1.3. Sustentabilidade

O mundo atual enfrenta uma grande ameaça, o aquecimento global, que pode ser observado, essencialmente, em cidades densamente povoadas, congestionadas e altamente poluídas, caracterizadas pela acumulação de resíduos e emissões de gases libertados para atmosfera. Além disso, a dependência humana do petróleo persiste, configurando-se como um combustível fóssil altamente poluente e finito (Marques, 2008).

Neste contexto, a sustentabilidade possui um significado muito maior do que apenas a proteção do meio ambiente. Abrange, de igual modo, a preocupação com a preservação dos recursos naturais de forma a que estes satisfaçam as necessidades das gerações futuras.

O desenvolvimento sustentável defende que se deve optar pela qualidade em detrimento da quantidade. Ou seja, reduzir o consumo de recursos naturais, que são finitos, e aumentar a sua reutilização e reciclagem, bem como priorizar o uso de recursos renováveis, como a energia solar e eólica (Marques, 2008). Este princípio deve ser também aplicado à construção, sobretudo em cidades sobrelotadas de edifícios, muitos dos quais vagos ou devolutos, procurando alternativas à construção nova. Assim, revela-se potencialmente vantajoso e sustentável reabilitar o edificado existente (Marques, 2008).

A construção é, atualmente, um dos setores mais poluentes, apresentando uma pegada ecológica considerável. Paralelamente, a elevada quantidade de edifícios existentes sem utilização, tem vindo a suscitar uma crescente preocupação entre os seus intervenientes, tanto a nível nacional como internacional. Este setor consome grandes quantidades de recursos, desempenha um papel importante nas economias dos países e mantém uma estreita relação com a sociedade. Dada a sua importância para o desenvolvimento sustentável, a mesma deve assumir um compromisso ativo no sentido de alcançar os objetivos (Gervásio, 2013; Marques, 2008).

A ideia de construção sustentável não é um conceito atual. Oficialmente, este tema foi abordado pela primeira vez em Tampa, em 1994, na Conferência Internacional sobre Construção Sustentável, por Charles Kibert. No entanto, há documentos que comprovam que esta ideia foi pensada na Antiguidade Clássica, em que se aborda a relação entre meios naturais e artificiais (Gervásio, 2013; Marques, 2008).

Um dos mais famosos arquitetos e engenheiros romanos da época, Vitruvius (séc. I a. C.), abordou este tema no seu tratado de arquitetura, onde dá algumas recomendações sobre a localização, orientação e iluminação natural dos edifícios (Marques, 2008). A construção não só tem impacto na fase de utilização do edifício, mas também na fase de construção do próprio e do seu destino quando é assumido o término do seu uso, ou seja, em todo o ciclo de vida do edifício.

Dos inúmeros impactos existentes, os mais proeminentes na construção são a produção de resíduos, o consumo de energia, as emissões de CO₂ libertadas e o consumo de recursos naturais (Marques, 2008).

Segundo o relatório da *Pulp and Paper Resources and Information* (2019), foi feita uma comparação aproximada das emissões e absorção de CO₂ entre alguns dos materiais de construção mais utilizados durante o seu processo de transformação, considerando uma tonelada de cada material:

- **Betão:** Uma tonelada de betão liberta 159 kg de CO₂ para a atmosfera;
- **Aço:** Uma tonelada de aço liberta 1,24 toneladas de CO₂ para atmosfera;
- **Alumínio:** uma tonelada de alumínio liberta 9,3 toneladas de CO₂ para a atmosfera;
- **Madeira:** Ao contrário dos materiais anteriores, uma tonelada de madeira absorve 1,7 toneladas de CO₂, mesmo considerando a energia gasta no seu cultivo, colheita e processamento.

A madeira é um recurso renovável, reciclável e biodegradável, amplamente disponível em várias regiões do mundo; os seus derivados incluem casca de árvore, resíduos de construção e subprodutos de processos de fabricação. A reciclagem desses materiais é utilizada para fabricar diversos agregados, secções estruturais e sistemas pré-fabricados, prolongando o ciclo de vida da madeira na construção.

Devido ao novo Pacto Ecológico Europeu que visa, nomeadamente, atingir a neutralidade carbónica até 2050, o setor da construção necessita urgentemente de soluções sustentáveis para alcançar as metas estabelecidas.

Segundo o Pacto, a União Europeia (UE) deverá reduzir em 80% as emissões de gases com efeito de estufa (comparativamente aos níveis de 1990) até 2050. Atualmente, o setor da construção é um dos maiores responsáveis por essas emissões (cerca de 40%).

Para mitigar este problema, umas das soluções passa pela reutilização de edifícios existentes que atualmente estão devolutos ou vazios, aliado ao uso de madeira, em particular produtos estruturais de madeira (EWP), tanto para os reabilitar como para os adaptar a novos ou diferentes usos (Madeira para construção: soluções estruturais moldadas pela engenharia, 2024; APA, 2012; Comissão Europeia, 2012).

Os países mais industrializados ainda usam os recursos naturais de forma insustentável, especialmente com recurso a combustíveis fósseis não renováveis. No caso da União Europeia, a maior parte dos recursos extraídos da superfície terrestre é utilizada pelo sector da construção, que também é responsável por um quarto de todos os resíduos sólidos produzidos.

Apesar do seu impacto ambiental, este setor tem uma grande importância económica para a UE: representa quase 10% do Produto Interno Bruto (PIB) e é responsável por vinte milhões de postos de trabalho (Gervário, 2013).

1.4. Reabilitação/reutilização de edifícios

A reabilitação¹¹ tem vindo a ganhar cada vez mais relevância, devido ao aumento dos estudos sobre edificado antigo. Inicialmente, a reabilitação era associada a edifícios considerados património, importantes construções públicas ou monumentos.

Atualmente, o âmbito da reabilitação alargou e agora abrange outros tipos de edificado, como os habitacionais, os industriais, entre outros.

¹¹ Segundo a **Ordem dos Arquitetos**, o termo reabilitação vem do latim *re + habilito*, “tornar apto, fazer hábil” (Houaiss, 2002), literalmente, voltar a tornar apto. Conceito “transportado” da área da medicina, segundo Abreu e Lucas (2003) a reabilitação é definida por “intervenção destinada a proporcionar desempenho compatível com exigências ou condicionalismos atuais” (Ordem dos Arquitetos, 2024).

Além disso, a reabilitação passou também a ser reconhecida como uma forma de melhorar a qualidade de vida e o bem-estar dos cidadãos a vários níveis, como económico, ambiental e social.

Essa mudança de paradigma supera a visão tradicional da construção, que era só vista apenas como uma fonte de emprego, funcionalidade, riqueza e desenvolvimento e passa a focar-se também na sustentabilidade e desenvolvimento pessoal (Silva, 2014).

Com o mesmo objetivo da reutilização de edifícios existentes, o processo no qual o edifício no fim da vida útil é reutilizado para um novo uso, ou mantendo o uso original, de maneira a prolongar a sua vida útil.

Este processo permite conservar os elementos característicos do edifício pré-existente, como as suas fachadas, a sua aparência e o seu significado histórico e cultural, podendo adaptar-se a uma nova função, e evitar demolições em processos que consomem uma quantidade significativa de energia (University College Of Management, 2024).

Todos os edifícios construídos têm uma vida útil que começa com a sua construção, passa por uma fase de envelhecimento, reabilitação, caso ocorra, e, finalmente, a sua demolição. Ao longo deste ciclo, o edifício degrada-se inevitavelmente devido às ações físicas, químicas e mecânicas a que está exposto.

Com o passar do tempo, um edifício pode deixar de proporcionar o conforto e a segurança estrutural para que foi projetado, atingindo um estado de degradação avançado e, em casos mais graves, a ruína, e conseqüente inoperacionalidade (Silva, 2014).

Segundo Córias (2007), as ações de reparação, reutilização, modificação e renovação, que visam aumentar a vida útil dos edifícios, têm sido muitas vezes subvalorizadas, apesar de revelarem planos muito positivos em vários cenários. As intervenções para reutilização de edifícios permitem estaleiros mais pequenos, reduzem a necessidade de transporte e de fabricação de materiais de construção, minimizando a produção de resíduos e a extração de matérias-primas.

As intervenções de reabilitação e manutenção, em muitos casos, podem ser realizadas sem interromper a utilização diária dos edifícios, o que é particularmente importante no caso de edifícios que prestam serviços públicos (Silva, 2014).

A reutilização apresenta o potencial da transformação e aproveitamento de edifícios existentes sem impacto no tecido urbano pré-existente.

Além disso, permite alcançar benefícios mais importantes do que resultados físicos como o preservar a memória através de camadas históricas e contemporâneas que podem coexistir no mesmo lugar (Moreira, 2019). Adicionalmente, é uma solução que contribui para resolver o problema dos edifícios devolutos, melhorando a qualidade da paisagem urbana das cidades.

A maior parte destes edifícios estão enraizados na identidade da cidade, nas suas zonas estratégicas, e contribuíram para o seu desenvolvimento. Por outro lado, a sua reabilitação ajuda a minimizar a dispersão das cidades que continuam a crescer descontroladamente, devido ao aumento da sua população. Por último, aborda-se a questão ambiental: a construção de edifícios novos acaba por libertar mais CO₂ para a atmosfera do que a reabilitação de um edifício existente (Silva, 2014).

1.4.1. Desafios da reutilização de edifícios

A reabilitação apresenta uma série de desafios que não se verificam na construção nova, principalmente no que diz respeito à sua imprevisibilidade.

Cada projeto de reabilitação é único, envolvendo, em muitos casos, locais, intervenientes e condições diferentes, mesmo quando se trata do mesmo edifício a reabilitar duas vezes. Cada um tem especificidades e condicionantes próprias, exigindo uma avaliação contextualizada e individualizada de cada situação. Esta singularidade faz da reabilitação um processo cheio de imprevistos, tornando as intervenções mais complexas. Normalmente, ao realizar intervenções de reabilitação, a estética do edifício é priorizada em detrimento de soluções mais resistentes, o que pode comprometer a durabilidade da reabilitação (Correia, 2009).

Um planeamento rigoroso, uma boa gestão dos recursos disponíveis, dos materiais e dos vários profissionais envolvidos na intervenção são essenciais para a sua boa realização. Existem também uma série de outros desafios associados à reabilitação, tais como:

- A viabilidade económica da reabilitação depende da sua escala de intervenção;
- Os incentivos fiscais e financeiros existentes são, frequentemente, desadequados;
- A falta de registo de outras intervenções anteriores, conhecimento dos materiais e processos construtivos, e ausência de estudos diagnóstico ou relatórios de avaliação, que dificulta o processo;

- A qualidade das intervenções fica comprometida pela falta de mão-de-obra especializada, de empresas orientadas para o sector da reabilitação e abandono das técnicas tradicionais;
- A insuficiente preparação técnica e/ou disciplinar dos profissionais, bem como a falta de formação dos agentes envolvidos, o que resulta numa baixa qualidade das intervenções;
- Falta de regulamentação específica para a reutilização de edifícios assim como as dificuldades sentidas nos controlos prévios do projeto;
- Falta de materiais utilizados na construção original;
- As exigências de conforto, qualidade e salubridade são difíceis de alcançar em comparação com a construção nova;
- Dificuldades de gestão de obra, estaleiro e de cargas e descargas em certos casos;
- A possibilidade de manter a utilização do edifício durante a intervenção;
- Problemas do nível tipológico e do “standard pretendido” da reutilização e a consequente possibilidade de segregação social;
- Incompreensão quanto à proteção do património, que representa um princípio fundamental da identidade e dos valores culturais e tradicionais (Pereira, 2013; Correia, 2009);

1.5. Potencialidades da madeira e derivados

Atualmente, uma das principais preocupações da arquitetura contemporânea é a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental, tornando a madeira um material cada vez mais popular. Sendo um dos materiais ancestrais de construção, o uso da madeira tem sido constantemente reformulado ao longo da sua história.

Este material armazena dióxido de carbono que é absorvido pelas árvores de onde os produtos de madeira provêm, permitindo assim que o mesmo seja mantido fora da atmosfera.

Se as árvores forem extraídas das florestas de forma sustentável, os produtos à base de madeira podem ser vistos como um material com menores emissões de gases com efeito de estufa.

A evolução recente de produtos derivados da madeira possibilita substituir materiais tradicionalmente usados que causam impactos negativos significativos para o Homem e para o Ambiente (Nunes, 2013; Florian, 2023).

Tendo em conta essas e outras novas exigências da atual construção e reutilização e para extrair todo o potencial da madeira, foram desenvolvidas diversas técnicas e soluções que permitem adaptar e personalizar as características deste material, de forma a ir ao encontro dos requisitos atuais dos projetos de construção.

Para expandir a sua utilização e adaptá-la melhor às exigências da arquitetura contemporânea, foram desenvolvidos métodos que vão desde a modificação térmica até painéis versáteis à base de madeira e derivados, a fim de tirar o melhor proveito deste material sustentável (Florian, 2023).

Segundo Negrão (2011), tem-se observado um crescente interesse na reabilitação e na reutilização com a madeira como material de construção principal, devido às suas diversas potencialidades e vantagens. Essa tendência tem levado à substituição gradual dos sistemas construtivos tradicionais por sistemas estruturais novos (Figura 03).

Entre estes novos sistemas destacam-se as estruturas laminadas coladas, os avanços na evolução de contraplacados e aglomerados (Figura 04), e o aprofundamento dos conhecimentos sobre as características da madeira (Silva, 2014).

1.5.1. Madeira e Derivados – laminação e colagem

Este tipo de madeira é formado pela união de camadas de partículas através da utilização de adesivos e processos avançados de montagem, que conferem ao material maior resistência, consistência dimensional e estabilidade, permitindo a produção de grandes elementos estruturais, mesmo a partir de árvores de menores dimensões. Os tipos mais populares de madeira e produtos de madeira de painéis laminados são a madeira lamelada colada (MLC), a madeira lamelada colada cruzada (CLT) e o LVL, madeira laminada folheada (Florian, 2023).



Figura 03 - Criação de uma nova cobertura (união entre o novo e o existente)



Figura 04 - Intervenção reversível dentro de um celeiro existente com o uso da madeira (novo dentro do existente)

O processo de fabrico destes materiais influencia significativamente as suas qualidades estruturais. No caso do MLC (Figura 05), recomenda-se usá-lo em grandes elementos estruturais, como colunas e vigas. Isto deve-se à sua produção com fibras de madeira orientadas no mesmo sentido, unidas em segmentos individuais de madeira com a utilização de colas industriais.

Muitas das colas industriais utilizadas na construção destinam-se à colagem de diversos materiais, como: o lamelados de madeira, o materiais impermeabilizantes e, até mesmo, reabilitação de estruturas de betão. Estas colas podem ser compostas à base de epóxi, melamina-urea-formaldeído e solventes orgânicos ou fenol (Florian, 2023; Torgal & Jalali, 2010).

Já os painéis CLT, devido às dimensões adaptadas à fase de pré-fabricação e à sua espessura, podem ser utilizados como paredes estruturais, pavimentos, tetos, telhados e mobiliário. Esta situação decorre do facto de serem produzidos com tábuas de madeira serradas e coladas em camadas, perpendiculares umas às outras, permitindo assim que tenham mais rigidez em ambas as direcções (Figura 06).

Finalmente, o LVL, embora tenha usos semelhantes ao MLC, apresenta um desempenho superior, permitindo elementos estruturais com secções transversais menores. Neste caso, deve-se ao facto de ser produzido por uma combinação de camadas finas de folheados de madeira com os veios orientados na mesma direcção (Florian, 2023).

1.5.2. Tratamentos térmicos e de pressão

A madeira apresenta bom desempenho tanto acústico quanto térmico, devido às suas ótimas propriedades naturais. No caso dos derivados da madeira, estas características são melhoradas. As irregularidades na superfície da madeira impedem que o som ecoe dentro do edifício. Além disso, as diferentes madeiras geralmente apresentam uma baixa transmissividade térmica, o que resulta em menores trocas de calor.

A transmissão sonora e térmica, num edifício de madeira, ocorre normalmente através das juntas de aço que precisam de um tratamento distinto, dependendo do contexto.



Figura 05 - Laminação da madeira - MLC



Figura 06 - Colagem dos derivados da madeira

A madeira termicamente modificada (TMT) é uma solução mais resistente e estável à humidade do que a madeira não tratada, o que diminui o risco de empenamento e fissuração, mantendo o seu aspeto natural. Este aumento da resistência e estabilidade deve-se à modificação térmica, um processo que expõe a madeira a altas temperaturas em fornos, reduzindo o seu teor de humidade para quase 0% e evitando a deformação. Em seguida, o vapor é usado para aumentar a humidade da matéria-prima para um nível entre 4% e 7%, tornando a peça viável para uso (Figura 07).

Os tratamentos de pressão são utilizados para aplicar conservantes ou retardadores de fogo na estrutura interna da madeira. Os tratamentos retardadores de fogo, além de aumentarem a versatilidade da matéria-prima, reduzem o fumo e as chamas produzidas durante um incêndio (Figura 08). Essa proteção também contribui para a prevenção de ataques de insetos que se alimentam da madeira, prolongando a vida útil do material. Desta forma, o recurso pode ser utilizada em diferentes aplicações, como postes de energia, decks, ripas e cercas, expandindo o seu uso estrutural interno até áreas expostas a condições ambientais externas (Oliveira, 2019; Florian, 2023).

1.5.3. Agregação de partículas de madeira

Os painéis de madeira são produzidos a partir da união de fibras, fragmentos ou partículas de madeira, com a ajuda de adesivos e resinas. Dependendo do tipo de agregados e adesivos utilizados, é possível criar painéis versáteis e robustos com várias propriedades. Os painéis de partículas e de fibras foram desenvolvidos para formar elementos com características uniformes. Estes utilizam fibras e partículas de madeira obtidas a partir da desagregação dos toros e aparas de resíduos de serrações sendo que, mais recentemente, passaram a ser produzidos para finalidades específicas, como materiais de elevada qualidade.

Entre os diversos tipos de aglomerados, o Oriented Strand Board (OSB), destaca-se pela sua utilização em revestimentos, bem como em camadas ocultas em edifícios (Figura 09 e 10). Atualmente, muitos arquitetos exploram a sua aparência em projetos de interiores, assumindo a sua materialidade e textura como acabamento final. Este material é um derivado da madeira bastante conhecido pela sua relação custo-benefício e pela sua resistência (Florian, 2023; Cachim, 2014).



Figura 07 - Exposição da madeira a altas temperaturas em fornos



Figura 08 - Madeira termicamente modificada



Figura 09 - Fabrico do OSB



Figura 10 - Diferentes aglomerados nos mobiliários

O Aglomerado de Média Densidade (MDF), amplamente utilizado na marcenaria e carpintaria, e o Aglomerado de Baixa Densidade (MDP), ambas soluções de baixo custo, utilizam resíduos de madeira misturados com resina (Florian, 2023; Cachim, 2014).

1.5.4. Tratamento das superfícies

Quando a durabilidade natural da madeira não corresponde à categoria de risco prevista, é fundamental aplicar produtos que garantam a sua preservação e estabilidade, como, por exemplo, tratamentos ignífugos ou a interposição de barreiras protetoras. Um dos métodos mais antigos de tratamento da madeira, com mais de trezentos anos, é a técnica japonesa de carbonização, que consiste na queima da camada externa da madeira, criando uma camada de material carbonizado que protege o elemento de fungos, insetos e elementos naturais (Figura 11). O nível de proteção obtido é determinado pelo tipo de tratamento utilizado e pela sua capacidade de impregnar e permanecer retido na madeira. Determinados produtos de tratamento são mais eficazes que outros e, por vezes, não são adequados para aplicações específicas. Atualmente, existem vários tipos de tratamentos que podem ser aplicados na madeira para melhorar a sua aparência, como pintura, lacagem (Figura 12), envernizamento, e acabamentos a óleo e a cera. Apesar da utilização de novos materiais, a principal função destes tratamentos mantém-se a mesma: prolongar a longevidade da madeira (Cachim, 2014; Florian, 2023).

1.5.5. Curvaturas

A madeira apresenta uma elevada resistência à flexão em relação a outros materiais estruturais, especialmente quando comparada com a sua densidade. Considerando que muitos dos elementos estruturais estão sujeitos a este tipo de força, a resistência à flexão dos derivados da madeira pode ser a propriedade mais significativa deste recurso natural. Os padrões de classificação desta matéria-prima para estruturas demonstram a importância de atribuir classes de resistência à flexão e permitem utilizar estas características para estimar outras propriedades de resistência (tração, compressão e corte) paralelas ao fio. Na arquitetura, a madeira é frequentemente usada e moldada em elementos retos, como estruturas e outras aplicações. No entanto, no início de 1800, o carpinteiro alemão Michael Thonet revolucionou o seu uso ao desenvolver a técnica de dobra a vapor, que permitiu a criação de vários projetos de mobiliário curvilíneo.

Esta técnica demonstra a elasticidade deste material, abrindo um leque de possibilidades para a exploração e a criação de diferentes formas.



Figura 11 - Técnica de carbonização da madeira

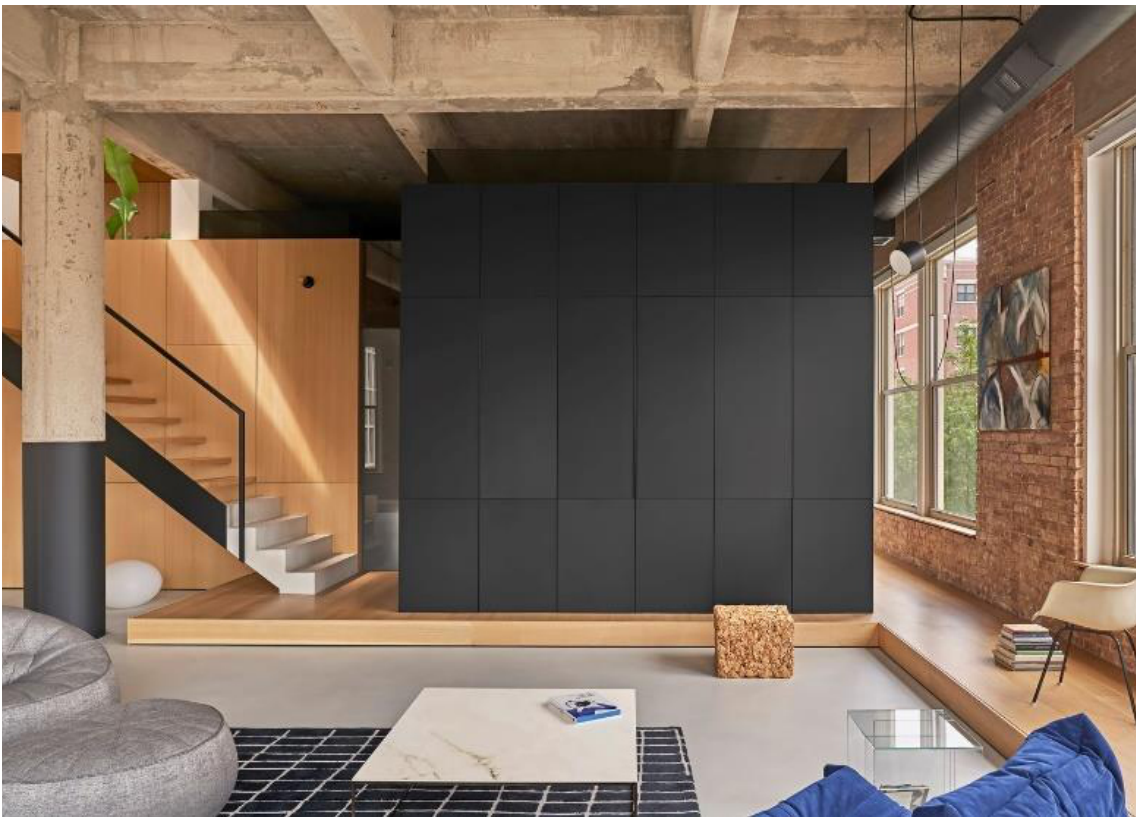


Figura 12 - Tratamento por lacagem

A madeira lamelada colada, por sua vez, permite moldar esta matéria em diferentes curvaturas desejadas (Figura 13), respeitando as restrições deste tipo de madeira e criando peças com grandes dimensões, adequadas para projetos arquitetônicos únicos (Cachim, 2014; Florian, 2023).

1.5.6. Pré-tensionada

O pré-tensionamento em elementos estruturais de madeira e derivados, implica o uso de elementos metálicos, como barras de aço, que são fixados e tensionados nos respectivos elementos, através de macacos hidráulicos. Esta técnica induz a aplicação de forças sobre o elemento, e permite um contrabalanço de cargas externas, conferindo à estrutura maior resiliência sísmica, comparativamente a estruturas sem este tipo de reforço (Florian, 2023).

1.5.7. Novas soluções de ligadores

As áreas mais frágeis da estrutura encontram-se nas ligações entre as várias partes das estruturas de madeira, o que pode comprometer, ao nível dos estados limite, tanto a sua durabilidade como a resistência ao fogo; isto condiciona significativamente o comportamento da estrutura, sendo importante que o conector seja centralizado e simétrico em relação ao plano médio da estrutura de madeira (Torres, 2021). Paralelamente à evolução das estruturas de madeira, observa-se a evolução dos tipos de ligadores utilizados nos diferentes elementos, o que permitiu a construção de estruturas cada vez maiores e mais complexas (Barbosa, 2015). Como já mencionado, os vários ligadores de estruturas de madeira podem-se classificar em três grandes grupos. No primeiro grupo, corresponde às ligações tradicionais, que utilizam entalhes feitos diretamente na madeira (Figura 14). Em seguida, o segundo grupo, inclui as ligações coladas, que utilizam colas específicas, como epóxi ou poliuretano, para ajudar a fixar as peças. Por fim, o terceiro grupo, integra as ligações com elementos metálicos, que empregam peças de diferentes metais, principalmente aço e alumínio, como pregos, parafusos e ligadores metálicos para fixar os elementos das estruturas (Figura 15). Estes diferentes tipos de ligadores distinguem-se pela forma como são aplicados em obra, os materiais utilizados e a forma como as cargas se movem na ligação (Torres, 2021).

Atualmente, o projetista dispõe de uma ampla série de ligadores metálicos, que lhe permite selecionar a opção mais adequada para cada tipo de estrutura a ser construída.



Figura 13 - Curvatura da madeira

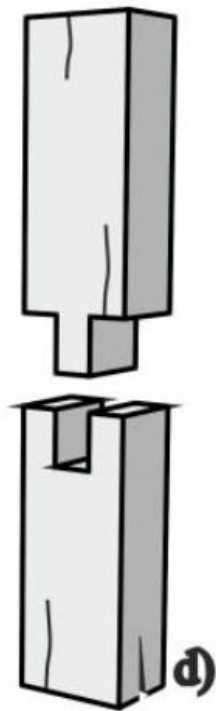


Figura 14 - Exemplo de uma ligação tradicional



Figura 15 - Exemplo de uma ligação metálica

II. Madeira como material de construção

No que diz respeito ao material primitivo a ser utilizado para construir as primeiras casas, é comum as pessoas presumirem que estas seriam em pedra, dada a persistência de algumas estruturas nessa época. Contudo, as habitações em madeira antecederam as de pedra, tendo sido, entretanto destruídas por incêndios e guerras, razão pela qual não há vestígios arqueológicos que o comprovem (Cachim, 2014). Devido à constante destruição de habitações de madeira, a pedra passou a ser utilizada com maior frequência de forma a reduzir vulnerabilidade das estruturas. Embora esta seja um material com elevada dureza e resistência, apresenta limitações para a construção em altura, ao contrário da madeira (Cachim, 2014).

Desde o abandono das cavernas, a madeira tornou-se a matéria prima elementar na construção dos abrigos. A sua leveza, a sua resistência, a facilidade de a trabalhar e a sua abundância em diversas dimensões tornaram-na uma escolha natural para suceder às cavernas como abrigo (Silva, 2014). Com a evolução da humanidade e o aparecimento de novas necessidades, a madeira começou também a ser usada para outros fins essenciais à subsistência humana, como nos meios de transporte e na construção de edifícios. As suas aplicações vão desde elementos estruturais, acabamentos ou objetos para serem usados tanto no *design* interior como no exterior (Silva, 2014).

Durante vários séculos, a madeira e a alvenaria foram os materiais construtivos predominantes na construção de edifícios, desde habitações, pontes, catapultas e até em coberturas de palácios e edifícios religiosos. Após vários anos a construir com o sistema tradicional à base de madeira e alvenaria (tijolo ou pedra), surgiu a necessidade de construir edifícios com outro tipo de características, dando origem ao betão armado e às estruturas metálicas nas primeiras décadas do século XX, que permitiram a realização de obras mais ousadas (Silva, 2014).

A madeira já possuía excelentes características em relação ao seu comportamento, mas, com o avanço das tecnologias, foram desenvolvidos derivados que apresentam propriedades físicas ainda mais otimizadas. Entre as suas características, destacam-se os seus comportamentos: resistência face à humidade, densidade, retratibilidade, durabilidade natural e resistência química ao fogo. Como isolante térmico, acústico e elétrico, a madeira apresenta-se com um comportamento notável (Silva, 2014). Estruturalmente, a madeira oferece uma enorme resistência em relação ao seu peso, permitindo uma construção rápida e eficaz sem comprometer a segurança do edifício.

A análise do ciclo de vida da madeira, em comparação com os principais materiais de construção, mostra um melhor desempenho no que diz respeito à energia incorporada, à emissão de gases, à libertação de poluentes para o ar e água e à produção de resíduos sólidos (Silva, 2014).

A crescente urbanização, a maior utilização de tecnologias digitais e o isolamento do COVID 19 despertaram novamente o interesse na presença e conexão com a natureza para o bem-estar emocional e físico das pessoas. Nesse contexto, estudos e discussões, que falam sobre este tema como a biofilia e a neuroarquitetura, ganham mais destaque, promovendo a integração de elementos naturais nos espaços (Belitardo, 2023). Entre estes elementos, a madeira destaca-se pela sua capacidade de conectar as pessoas à natureza, proporcionando benefícios físicos e emocionais (Belitardo, 2023; Aflalo, 2020).

Ao incorporar a madeira em espaços habitacionais, empresariais, comerciais e industriais é possível criar ambientes mais tranquilos e serenos, o que contribui para a concentração e redução dos níveis de *stress* (Belitardo, 2023). Além disso, as boas propriedades acústicas da madeira contribuem para criar ambientes com adequadas qualidades de propagação ou absorção do som, consoante o tipo de função.

Simultaneamente, a textura, a cor e o aroma permitem criar espaços com uma maior conexão com a natureza, proporcionando uma atmosfera que ajuda a acalmar e revigorar (Belitardo, 2023). Estudos indicam os benefícios do uso da madeira associados tanto ao *design* de interiores como de exteriores: melhoria do bem-estar, estado mental mais equilibrado, redução dos níveis de ansiedade e *stress* e aumento da sensação de calma e tranquilidade nas pessoas (Belitardo, 2023).

Nas residências, o uso da madeira torna os espaços mais confortáveis e aconchegantes, acalma e relaxa os seus habitantes, aproximando a natureza das pessoas. As casas de madeira são notavelmente valorizadas em regiões com climas frios, devido à sua rapidez de construção, grande eficiência energética e capacidade de transmitir conforto, bem-estar e segurança aos ocupantes durante todo o ano. Nos espaços empresariais, a madeira também contribui para a criação de ambientes mais empáticos, que melhoram o foco e a produtividade dos trabalhadores, aumentam o seu bem-estar e a sua satisfação.

A versatilidade da madeira permite a sua aplicação em diversos elementos arquitetónicos como pisos, móveis, revestimentos, forros e esquadrias (Belitardo, 2023; Branco, 2013).

Alvar Aalto definiu a arte, incluindo a arquitetura, como o processo contínuo de permitir que os materiais se expressem. Nesse sentido, a madeira é um material fascinante, pois possui uma textura única e distinta, um toque agradável, um cheiro característico e padrões próprios resultantes de sua formação como estrutura viva (Silva, 2014; Barbosa, 2023; Barbosa, 2013; Gervásio, 2013).

2.1. Madeira Maciça

A madeira maciça tem sido amplamente utilizada ao longo da história. Embora o seu uso tenha diminuído, atualmente, em favor de outras soluções, continua a ser aplicado em casos específicos, como, por exemplo, em mobiliário urbano. Este recurso natural passa por diversos processos de transformação, desde a recolha nas florestas até à sua aplicação final. A primeira etapa passa pela recolha e seleção dos troncos, a segunda procede à transformação da matéria-prima, onde ocorre a serração dos troncos, que são destinados à indústria de painéis de madeira e à de pasta para a produção de papel (Figura 16 e 17). Posteriormente, a madeira cortada é utilizada para a produção de diversos produtos, tais como embalagens, paletes, móveis, elementos de carpintaria e sistemas estruturais para a construção civil (Silva et al., 2013).

A madeira maciça resulta da limpeza e corte dos troncos e ramos em medidas standardizadas, sendo um produto mais simples, por não receber tanto tratamento. Geralmente apresenta-se em duas formas principais: em toro ou varas e postes ou como madeira serrada, sendo classificada de acordo com o comprimento e diâmetro, sem casca (Silva et al., 2013).

A madeira serrada, que é uma das mais utilizadas na construção, pode apresentar-se em pranchas, vigas, tábuas ou caibros, resulta da transformação dos troncos em peças de secção quadrangular ou retangular, com diferentes dimensões conforme o produto final pretendido. As peças podem ter formas, propriedades e aspetos variados, dependendo do tipo de corte aplicado ao tronco. Após o processo de corte, tanto a madeira em toro quanto a madeira serrada passam por uma fase de secagem e possíveis tratamentos, podendo ser natural ou em estufa, para atingir o nível de humidade adequado ao uso pretendido.



Figura 16 - Toro de madeira



Figura 17 - Pranchas de madeira

Se o elemento apresentar um teor de humidade inadequado pode levar a defeitos graves, podendo comprometer a integridade da madeira durante a sua utilização. Se o produto de madeira for utilizado especificamente no exterior, deve receber um tratamento mais aprofundado para protegê-lo de fatores naturais, como ataques de térmitas, insetos e fungos de putrefação (Figura 18).

Esses tratamentos adicionais são essenciais para garantir a durabilidade e a resistência do material perante tais ameaças. Graças aos avanços tecnológicos na indústria da transformação, é possível minimizar os defeitos naturais da madeira e valorizar a sua aplicação decorativa (Figura 19), ampliando assim as possibilidades de utilização deste material (Silva et al., 2013).

2.2. Madeira e Derivados

Os produtos derivados da madeira, ou *Engineered Wood Products* (EWP), foram desenvolvidos para superar as limitações que a madeira maciça apresentava, nomeadamente a qualidade final e as suas dimensões, que eram muito limitadas pelo tamanho do tronco. Estes são produzidos a partir de fibras ou partículas, placas e lâminas de madeira, as quais são posteriormente coladas com materiais aderentes (Figura 20). Este processo permite que os EWP's não fiquem limitados às dimensões do tronco, permitindo a sua produção numa vasta variedade de tamanhos (Martins, 2021).

A sua utilização permite uma construção mais rápida, com uma redução significativa dos custos gerais. No caso de Portugal, podem ser produzidos a partir de várias espécies de madeira de crescimento rápido, incluindo espécies autóctones, como exemplo o pinho (Martins, 2021).

Com uma gestão mais sustentável das florestas, consegue-se criar novos empregos, proteger matos naturais e reduzir custos de importação e transporte deste material. Estes derivados da madeira permitem obter produtos sem os habituais defeitos naturais deste recurso (nós e vazios), proporcionando propriedades físicas e mecânicas superiores, aumentando a durabilidade de algumas espécies, cujos os tronco são naturalmente menos duráveis (Martins, 2021). A escolha dos produtos apresentados justifica-se pela grande variedade de soluções construtivas com o uso de derivados da madeira proporciona.



Figura 18 - Tratamento protetor da madeira em *Stain*



Figura 19 - Tratamento com o uso de verniz



Figura 20 - Diferentes tipos de EWP

Entre os produtos derivados de madeira com maior aplicação na construção destacam-se os aglomerados de partículas orientadas (OSB); os contraplacados; os lamelados; os aglomerados de fibras de média densidade (MDF); a madeira lamelada colada e a lamelada colada cruzada; a madeira microlaminada (LVL); as vigas de perfil I; e ainda a madeira KVH que consiste em elementos retos de secção retangular, obtidos pela colagem topo a topo (através de finger-joints) de peças de madeira maciça (Branco, 2013).

Principais potencialidades do uso dos derivados de madeira na reutilização de edifícios:

Os derivados de madeira distinguem-se principalmente pela sua leveza, a qual facilita intrinsecamente o seu manuseamento e a instalação. Esta característica permite uma montagem e desmontagem rápidas e eficientes, mesmo em espaços pequenos, frequentemente dispensando o uso de maquinaria pesada para o seu transporte e elevação no estaleiro de obras. A sua natureza pré-fabricada, combinada com a facilidade de instalação, torna os mesmos ideais para intervenções menos intrusivas e muitas vezes reversíveis em edifícios preexistentes.

Consequentemente, contribuem para o prolongamento da vida útil do parque edificado, permitindo a sua adaptação às necessidades contemporâneas sem comprometer a sua identidade histórica e cultural. Ao contrário da madeira maciça, os produtos derivados da madeira são fabricados a partir de fibras, partículas, lâminas ou tábuas que são subsequentemente coladas. Este processo de fabrico permite obter peças com dimensões que não são limitadas pelo tamanho do tronco da árvore, oferecendo uma vasta variedade de tamanhos e formatos. O resultado são produtos intrinsecamente mais homogêneos, com elevada estabilidade dimensional e acentuada rigidez e resistência mecânica. Tais atributos minimizam o surgimento de problemas como empenhamentos, torções, fissuras e delaminações.

A ausência de defeitos naturais confere-lhes uma qualidade fiável, com humidade controlada, o que, aliado à sua homogeneidade e resistência, solidifica a fiabilidade destes produtos. Além disso, estes apresentam uma excelente relação peso-resistência. Destaca-se, por exemplo, o facto de alguns destes materiais poderem ser até duas vezes mais resistentes do que o aço, em proporção ao peso, ou de alcançarem a mesma resistência que uma viga de betão, pesando apenas um quinto do seu peso. Alguns produtos são igualmente reconhecidos pelas suas excelentes propriedades de isolamento térmico e acústicos.

Esta característica contribui significativamente para a eficiência energética dos edifícios, resultando na redução do consumo de energia para aquecimento e arrefecimento. Estes materiais evidenciam também uma elevada durabilidade e resistência à degradação, desgaste e ao impacto. Mediante tratamentos adequados, são ainda resistentes ao fogo, à humidade e a pragas.

A versatilidade destes produtos permite a sua aplicação numa ampla variedade de contextos, desde elementos estruturais (como vigas, pilares, lajes, coberturas) a aplicações não estruturais como mobiliário, revestimentos, portas e elementos decorativos. Muitos destes produtos podem ser utilizados como acabamento final, permanecendo expostos, o que lhes confere um aspeto visualmente atrativo e contribui para a criação de ambientes acolhedores. A sua flexibilidade dimensional permite ainda que sejam moldados em formas complexas ou curvilíneas.

Constituem recursos renováveis, recicláveis e biodegradáveis, com um ciclo de vida que minimiza o impacto ambiental. A sua produção consome significativamente menos energia e recursos do que materiais como o betão, o aço e o alumínio. A capacidade de serem produzidos à medida ou com recurso a subprodutos e resíduos da madeira contribui para minimizar o desperdício de material.

Estes produtos surgiram a partir do fim do século XIX e início do século XX, com a maioria a surgir após o ano de 1900. De acordo com a sua função, os derivados de madeira são divididos em três grandes grupos: produtos com aplicações estruturais; os produtos de aplicações não estruturais, utilizados em funções como em revestimentos, mobiliário e carpintaria (portas e rodapés); e, por fim, os produtos com aplicações mistas, que combinam características de ambos os sistemas, podendo desempenhar tanto funções estruturais como funções não estruturais.

2.2.1. Produtos com aplicação estrutural

2.2.1.1. Madeira Laminada Folheada (LVL) – Laminated Veneer Lumber

A madeira laminada folheada, também conhecida como LVL (Laminated Veneer Lumber), é produzida de modo semelhante ao contraplacado, a partir de folhas de madeira obtidas pelo desenrolar de troncos de árvores, que são depois coladas umas sobre as outras. A principal diferença entre o contraplacado e o LVL consiste na orientação das folhas, que no contraplacado, são coladas perpendicularmente umas às outras, enquanto no LVL são coladas com os veios paralelos entre si.

Os painéis LVL podem ter até 20 metros de comprimento, proporcionando alta resistência mesmo com esta configuração de colagem. Em painéis de maior largura, é comum inserir-se uma lamela transversalmente para melhorar as propriedades transversais do material. Na América do Norte, a LVL é muitas vezes conhecido pelo nome comercial *Microllam*, enquanto que na Europa é chamado *Kerto* (Cachim, 2014).

Na produção do LVL, após a escolha, a apanha e o desenrolar dos troncos, inicia-se o fabrico dos folheados de madeira. Os troncos são imersos em água quente por 24 horas, e, em seguida, são descascados através de um processo de rotação.

As folhas são cortadas com 2 metros de comprimento e 3 a 4 mm de espessura, sendo posteriormente secas e classificadas de acordo com o seu peso antes de serem coladas. Na etapa seguinte, um adesivo à base de formaldeído é aplicado nas folhas que são empilhadas para atingir a espessura desejada. As juntas entre as folhas são posicionadas verticalmente desalinhas, de modo a não comprometer a resistência do material. Os painéis são então prensados a uma temperatura elevada para garantir a aderência adequada do adesivo. Após a prensagem, os painéis são cortados nas medidas desejadas e recebem os acabamentos necessários (Cachim, 2014).

O LVL é um produto de madeira usado em vários tipos de projetos de construção, desde novas construções até reutilizações e reabilitações. Apresenta um amplo uso em elementos estruturais como vigas, reforços de vigas, asnas, lintéis, treliças, painéis estruturais de paredes e pavimentos, e estruturas de telhados (Figura 22 e 23). Além disso, permite o seu uso também em elementos não estruturais, como portas, janelas, componentes para mobiliário, componentes para a indústria de carroçarias, cofragens e na produção de tábuas de andaimes e rodapés (Multiplacas, 2024; Hakkarainen, 2019).

Principais características:

- Elevada Resistência Mecânica;
- Dimensionalmente estável, não empena ou torce, sem lascas ou rachaduras devido à estrutura laminada (ideal para paredes e também altas construções);
- Grandes vãos com deflexão mínima;
- Duas vezes mais resistente que ao aço em proporção ao peso;
- Ductilidade das ligações: segurança melhorada;

Madeira como material de construção

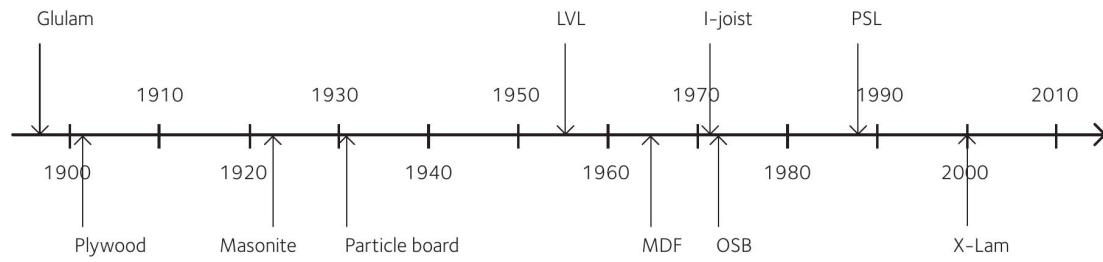


Figura 21 - Linha do tempo dos tipos de EWP



Figura 22 - Madeira laminada folheada (LVL)



Figura 23 - Uso do LVL numa estrutura de piso

- Forte e rígido na compressão perpendicular das arestas na direção do grão: melhor qualidade de construção com o mínimo deformação, adequado para suportes estreitos;
- Leve e altamente portátil;
- Facilidade de manuseamento e rapidez de instalação;
- Diversas aplicações, finalidades e dimensões do produto personalizadas;
- A sua montagem e instalação podem ser realizadas por instaladores, sem recurso a qualquer maquinaria pesada de elevação, mesmo em espaços pequenos;
- Fácil de fixar, grampear, parafusar, pregar e furar usando ferramentas convencionais;
- Dimensões uniformes e com qualidade do produto final (principal vantagem em aplicações industriais);
- Facilmente adaptável e produzido com precisão;
- Pode ser produzido nas dimensões exatas, minimizando o desperdício de cortes transversais e serras;
- As dimensões do produto não são limitadas pelo tamanho do tronco da matéria-prima;
- Seco de fábrica, teor de humidade de 8-10% garantido mínima retração in situ;
- Facilmente combinado com outros produtos de construção numa ampla variedade de tipos de edifícios e permite grande aberturas de janelas;
- Eficiência de instalação: painéis de grandes dimensões para pavimentos, tetos e paredes cobre grandes áreas muito mais rapidamente do que a madeira de tamanho normal painéis reduzindo a quantidade de elevação necessária no estaleiro de obras;
- Material mais homogéneo;
- Durabilidade;
- Armazenamento de carbono ecológico: 1 m³ LVL contém carbono armazenado equivalente a 789 kg de CO₂;
- O custo de produção é superior ao da madeira serrada, mas é necessário menos material para cumprir as especificações do projeto durante a construção com LVL (Multiplacas, 2024; Hakkarainen, 2019);

Potencialidades da utilização na reutilização de edifícios:

O LVL destaca-se pela sua elevada estabilidade dimensional, uma propriedade intrínseca ao seu processo de fabrico que lhe permite manter as dimensões inalteradas, mesmo sob variações de humidade, temperatura ou esforços mecânicos.

Esta característica é crucial para a integridade estrutural e a consistência estética ao longo do tempo, minimizando o risco de empenhamento, torção, lascas ou fissuras. A sua capacidade de preservar a forma original torna-o ideal para uma vasta gama de aplicações, tanto em elementos estruturais quanto não estruturais, assegurando a fiabilidade e durabilidade do projeto.

Uma das grandes potencialidades do LVL reside na sua aptidão para vencer grandes vãos com deflexão mínima. Esta capacidade advém da sua elevada resistência mecânica, que permite a conceção de espaços amplos, reduzindo significativamente a necessidade de apoios intermédios.

Em contextos de reutilização, esta característica é especialmente vantajosa, possibilitando a adaptação de edifícios existentes a novos programas ou *layouts* funcionais que exigem maior flexibilidade espacial.

Em proporção ao peso, o LVL é duas vezes mais resistente do que o aço. Esta excelente relação peso-resistência resulta em estruturas mais leves, o que facilita o manuseamento e a rapidez de instalação em obra, mesmo em espaços confinados ou onde o acesso de maquinaria pesada é limitado. Adicionalmente, esta leveza contribui para uma menor sobrecarga nas fundações existentes, um aspeto vital em projetos de reabilitação/reutilização onde a capacidade portante original pode ser um fator limitante.

O processo de fabrico do LVL garante um teor de humidade de 8-10% à saída da fábrica, assegurando uma retração mínima in situ. Esta precisão no controlo da humidade é fundamental para a estabilidade do material após a instalação, prevenindo deformações ou fissuras que poderiam comprometer o desempenho e a estética da construção a longo prazo.

Além disso, este produto demonstra um significativo contributo para a sustentabilidade ambiental, ao ser capaz de armazenar carbono equivalente a 789 Kg de CO₂ por metro cúbico.

Para corresponder às especificações de projeto, o LVL requer uma quantidade inferior de material quando comparado com a madeira maciça. Esta eficiência na utilização de recursos permite uma otimização da matéria-prima, resultando não só numa diminuição do consumo de madeira, como também em potenciais reduções no custo global da intervenção, sem comprometer as suas propriedades.

Por fim, a segurança do LVL é melhorada pela ductilidade das suas ligações. Esta propriedade estrutural essencial, permite que as ligações sofram deformações significativas sem rutura súbita, o que se revela crucial em eventos sísmicos ou sob cargas dinâmicas.

A figura 24 apresenta a ampliação do Lea Bridge Library Pavilion, uma biblioteca situada em Londres. A intervenção priorizou a preservação do muro preexistente a ponte, o que, em conjunto com o uso de LVL e de outros materiais construtivos na sua execução, viabilizou a integração de uma nova ala adaptável, destinada a café e espaço comunitário.

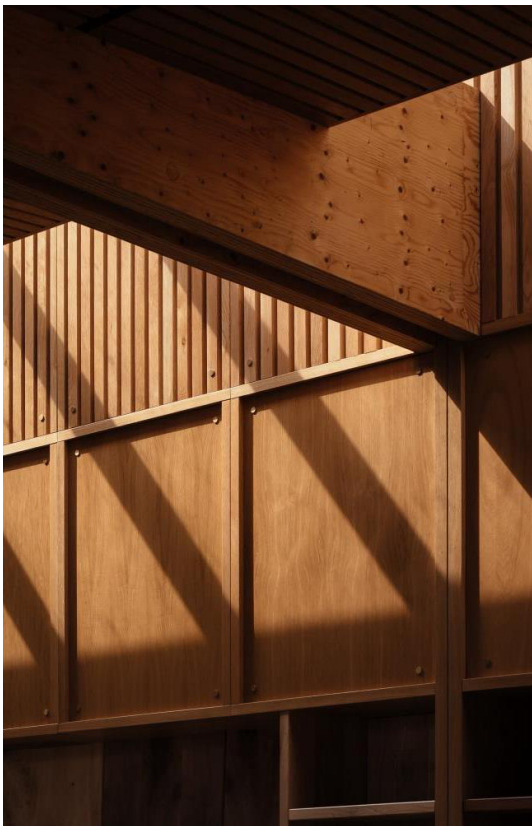
Nesta abordagem, a madeira laminada folheada de alta resistência foi aplicada como suporte estrutural sobre o muro existente. As vigas, em balanço, suportam grandes vãos com o mínimo de deflexão para suportar o envidraçado suspenso e um teto flutuante de ripas de madeira. Esta disposição criou espaços amplos que promovem a conexão do interior com o jardim, além de servir um propósito estrutural.

Com o intuito de proporcionar uma maior flexibilidade e versatilidade ao espaço, foi integrada uma porta pivotante em LVL, em harmonia com os revestimentos de madeira da parede, proporcionando uma solução delicada e rápida para a separação das diferentes divisões. Este produto foi igualmente utilizado na criação de estantes e bancos embutidos, os quais se conectam à parede contínua de madeira, possibilitando, assim, a delimitação de áreas de leitura (Figura 24.a.). Este projeto utiliza matéria-prima recuperada de árvores abatidas em diversos parques de Londres, promovendo a reutilização de materiais e a diminuição das emissões de gases com efeito de estufa.

Neste contexto, o LVL foi mobilizado para diversas finalidades, nomeadamente em elementos estruturais, revestimentos e mobiliário, na nova expansão da biblioteca. Por se tratar de um material leve, não sobrecarrega o muro existente e possibilita a operação da obra sem a necessidade de maquinaria pesada e sem a condicionante de encerrar o edifício para a realização da intervenção, o que evidencia a sua potencialidade para ser reutilizado posteriormente.



a. Mobiliário embutido na parede nova



b. Detalhe da viga LVL



c. Porta pivotante em LVL para separação de áreas

Figura 24 - Ampliação da *Lea Bridge Library* - Escritório Estúdio *Weave*

2.2.1.2. Madeira de Fios Paralelos (PSL) – Parallel Strand Lumber

Este material utiliza um procedimento patenteado pela empresa florestal canadiana MacMillan Bloedel. O processo envolve a união de tiras finas de madeira, que podem apresentar até 2 metros de comprimento e é altamente eficiente, pois origina pouco desperdício e aproveita quase todos os elementos do tronco (Craft, s.d.).

Este material foi inicialmente concebido para utilizar resíduos florestais, com o objetivo de substituir grandes elementos de madeiras maciças. É produzido com os mesmos elementos que o LVL, diferenciando-se apenas pela utilização das folhas exteriores do tronco, que não podem ser utilizadas no fabrico do LVL devido às suas diferentes dimensões (Figura 25).

A produção deste material inicia-se com o corte das folhas, paralelas ao fio, em lamelas finas de 3 mm de espessura e 2,4 m de comprimento. Estas peças são revestidas com um adesivo hidrófugo, em seguida, são colocadas numa prensa e depois são polidas. Posteriormente, as peças são cortadas em tábuas menores, de acordo com os comprimentos desejados, sendo que uma das grandes limitações deste tipo de produtos de madeira é o seu transporte, e por isso as peças normalmente não ultrapassam os 20 metros de comprimento. É um derivado de madeira com alta resistência à flexão sendo, por isso, amplamente utilizado em vigas para grandes vãos e pilares (Figura 26).

Além disso, tem uma excepcional estabilidade dimensional e resistência (duas vezes mais forte do que a madeira maciça). O seu uso é recomendado em áreas sujeitas a altas tensões de flexão ou compressão, como vigas, pilares, elementos de reforço e elementos de viga treliçada e pode ser usado tanto no exterior como no interior (Wood, 2024.).

A madeira de fios paralelos tem uma durabilidade semelhante à da madeira natural, no entanto, devido aos vazios existentes na sua secção transversal, este material é particularmente adequado para ambientes húmidos, uma vez que permite uma elevada penetração de produtos conservantes. Também é uma excelente escolha para locais expostos a altas temperaturas devido à sua grande resistência ao fogo, semelhante ao CLT (Madeira Lamelada Colada Cruzada). Possui uma combustão lenta, devido a ser revestida por uma camada protetora externa que ajuda a manter a sua integridade estrutural em caso de incêndio.



Figura 25 - Peça de PSL



Figura 26 - Viga e coluna de PSL

Esta lenta velocidade de combustão proporciona tempo suficiente para evacuar um edifício em segurança (Cachim, 2014; Wood, 2024).

Principais características:

- Desempenho seguro, com alta resistência e capacidade de carga;
- Qualidade consistente, uniformidade confiável e ausência de defeitos naturais;
- Fornece soluções ideais para aplicações em balanço e multi-vão;
- Alta rigidez e estabilidade dimensional;
- Flexibilidade de tamanhos;
- Rapidez de instalação e facilidade de manuseamento;
- Disponível em algumas regiões com tratamento de conservação para aplicações externas;
- Superfície cuidada que permite a aplicações de vigas sem revestimento e visualmente atraentes;
- Utiliza recursos naturais de forma eficiente (Weyerhaeuser Company, 2024; Martins, 2021);

Potencialidades da utilização na reutilização de edifícios:

Este derivado da madeira possui elevada resistência à flexão e apresenta um desempenho seguro com alta capacidade de carga. Esta característica torna-o particularmente adequado para aplicações que envolvem grandes vãos, minimizando a necessidade de fundações adicionais em edifícios existentes. Tal atributo revela-se importante em projetos de reutilização, onde a capacidade portante das estruturas preexistentes pode constituir um fator limitante, permitindo, em simultâneo, a criação de novas configurações espaciais em situações de balanço e multi-vão, bem como para elementos sujeitos a altas tensões de flexão ou compressão.

Adicionalmente, apresenta a versatilidade de poder ser utilizado tanto em ambientes interiores como exteriores. Em determinadas regiões, está disponível com tratamento de conservação específico para aplicações exteriores, o que lhe confere resistência contra as intempéries, alargando o seu campo de aplicação em intervenções de reutilização. A sua produção e utilização são realizadas eficazmente, promovendo o uso otimizado dos recursos naturais, o que se alinha intrinsecamente com os princípios de sustentabilidade inerentes aos processos de reabilitação/reutilização.



Figura 27 - Pormenor da ligação da estrutura com o pila de PSL



Figura 28 - Conexão do pilar PSL com a cobertura

Além disso, a sua superfície cuidada permite a aplicação de vigas sem revestimento, o que confere um aspeto visualmente atrativo aos espaços. Esta propriedade é ideal para reutilizações de edifícios em diversos contextos construtivos, contribuindo tanto para a estética do projeto como para a otimização dos custos de acabamento.

A figura 29 apresenta um projeto de renovação, expansão e preservação do património dos dois teatros históricos da década de 1960 - o *proscenium Kreeger Theater* (514 lugares) e o *Fichandler Stage* (680 lugares), complementado pela adição de um terceiro teatro, o *Kogod Cradle* (200 lugares), também conhecido como “*The Cradle*”. Esta intervenção priorizou a conexão fluída entre os três teatros, através da criação de espaços funcionais partilhados que promovem a conectividade visual e espacial.

O projeto integrou um telhado emblemático e uma estrutura de vidro que abrangem os três teatros, possibilitando uma vista privilegiada para o Canal e Monumento de *Washington*. No espaço interior e em redor dos edifícios, através de um cuidadoso projeto paisagístico e da ousada escultura da estrutura, foi criada uma imagem renovada para o bairro, promovendo, assim, a realização de atividades públicas.

A aplicação do PSL foi fulcral para a concretização desta intervenção, destacando-se como o primeiro projeto nos Estados Unidos a utilizar um híbrido de madeira e vidro para envolver duas estruturas existentes. A elevada capacidade de carga e a resistência deste produto, permitiram o suporte tanto da cobertura em aço como da fachada envidraçada (Figura 29.a.). As colunas deste material, com alturas entre 15 e 18 metros, suportam não só a estrutura de telhado de aço de 152 metros de comprimento mas também a matriz suspensa de elementos de vidro, com um elemento estrutural em balanço (cantilever) de 27 metros. Devido à sua flexibilidade de tamanhos, este derivado possibilitou a personalização metódica do suporte para a fachada envidraçada, suspensa de cabo curvo, com 198 metros de comprimento (Figura 29.b.). Adicionalmente, o uso do PSL no interior viabilizou a criação de grandes vãos e espaços livres de pilares intermédios, promovendo a flexibilidade espacial e uma circulação fluída entre os diferentes teatros.

Além da sua função estrutural, o PSL desempenhou um papel estético crucial, realçando a atratividade da fachada envidraçada e conferindo ao espaço interior uma atmosfera mais acolhedora e visualmente impactante, graças à qualidade do seu acabamento (Figura 29.c.). O aspeto visual cuidado das vigas de PSL permite a sua aplicação sem revestimento e, em combinação com a fachada em vidro, torna a estrutura visível tanto no interior como no exterior, atuando como um elemento de identidade do edifício. A opção por este derivado de madeira beneficiou o projeto a nível económico, ambiental e visual, dada a sua rapidez de instalação e a ausência de necessidade de revestimento, o que minimizou os custos de obra, sublinhando a sua relevância e versatilidade.



a. Vista exterior do aspeto visual do PSL



b. Pormenor do suporte da fachada em vidro em PSL



c. Pormenor da ligação do pilar em PSL com o piso

Figura 29 - Renovação, ampliação e preservação da *Arena Stage at the Mead Center* - Escritório *Revery Architecture*

2.2.1.3. Madeira Laminada (LSD) – Laminated Strand Lumber (LSL)

O LSL (Laminated Strand Lumber) foi desenvolvido no Canadá pela MacMillan Bloedel Limited e comercializado pela primeira vez no início da década de 1990 sobre o nome comercial TimberStrand. Atualmente é produzido pela Trus Joist, uma empresa do grupo Weyerhaeuser. A madeira laminada (LSL) foi desenvolvida como uma alternativa à madeira maciça de longo comprimento, utilizando espécies florestais não muito usadas. Este produto, como se pode observar na figura 30, é feito de lamelas retiradas de madeira de árvores folhosas de crescimento rápido, como choupo (Sven & Larsen, 2003).

Na área de fabricação, os troncos são cortados e imersos em água quente para amolecer a madeira. Em seguida, o tronco é descascado e passado por uma máquina de entalhe para obter os fios desejados, havendo uma triagem para remover partículas indesejadas.

As lamelas são coladas com um adesivo e submetidas a pressão e calor. Geralmente, as tábuas têm espessuras entre 0,9 e 1,3mm, larguras entre 13 e 25mm e comprimentos de até 300mm. As placas com medidas fora deste padrão são descartadas do processo, as restantes, com as características pretendidas, são secas até atingirem um teor de humidade entre 3 e 7% (Cachim, 2014; Sven & Larsen, 2003).

Após a secagem, as placas são revestidas com cera e resina, com um rigoroso controlo das quantidades aplicadas e das lamelas utilizadas. As tábuas são especificamente orientadas e depositadas num colchão (estrutura temporária para processar as tábuas) de aproximadamente 2,4m de largura por 10,7 ou 14,6m de comprimento.

Este colchão é colocado numa prensa com altas temperaturas para secar os adesivos previamente aplicados e obter a forma pretendida. Finalmente, as peças são serradas nas medidas desejadas para distribuição. As dimensões finais das tábuas LSL podem atingir 140mm de espessura, 1,2m de largura e 14,6m de comprimento. Este produto, na sua forma final, apresenta níveis de humidade entre 6 e 8%, resultando numa peça resistente com baixa deformação face às variações de humidade do ambiente (Cachim, 2014).

O LSL é um material altamente resistente e por essa razão torna-se ideal para uma ampla gama de aplicações, tais como: construção de paredes altas, vigas de piso e de cobertura, pilares, longarina de escadas, placas de borda e elementos de soleira (Figura 31).



Figura 30 - Peça de LSL



Figura 31 - Viga de LSL

Principais características:

- Alta rigidez;
- Elevada resistência ao empenamento e torção;
- Sem defeitos naturais, vazios ou bolsas de baixa densidade;
- Excelente estabilidade dimensional na planicidade do painel;
- Reduz o tempo de instalação;
- Consistência na espessura, densidade e teor de humidade;
- Reduz os materiais utilizados;
- Protegido contra ataques de fungos e insetos;
- Adesivos resistentes à água para maior durabilidade;
- Produto mais uniforme (Tolko, 2024; Martins, 2021);

Potencialidades da utilização na reutilização de edifícios:

Este produto destaca-se pela excelente estabilidade dimensional na plasticidade do painel, minimizando significativamente o empenamento e a torção. Esta característica revela-se crucial em intervenções de reutilização, onde a integração de novos elementos com estruturas preexistentes, muitas vezes sujeitas a movimentos ou deformações ao longo do tempo, o que exige materiais de elevada fiabilidade dimensional para assegurar a coerência e a durabilidade da intervenção. A consistência na espessura, densidade e no teor de humidade, controlada durante o fabrico, garante a fiabilidade do material ao longo do tempo. A previsibilidade de comportamento do LSL revela-se importante para projetos de reutilização, permitindo aos projetistas e construtores planear com maior precisão e rigor, evitando imprevistos que poderiam comprometer o cronograma e o orçamento da obra, e assegurando o cumprimento dos requisitos definidos pelos novos elementos. Adicionalmente, a sua durabilidade é reforçada pela utilização de adesivos resistentes à água e pela proteção contra ataques de fungos e insetos. Esta resistência é atributo fundamental em edifícios existentes, frequentemente suscetíveis a problemas de humidade ou infestações biológicas. A capacidade do LSL de suportar estas agressões externas amplia significativamente o seu campo de aplicações em reabilitações e reutilizações, desde elementos estruturais a revestimentos, contribuindo para a longevidade e salubridade das intervenções, e minimizando a necessidade de manutenções futuras.

Na figura 34, é apresentado um projeto de reabilitação/reutilização e expansão do salão municipal e da biblioteca da cidade de North Vancouver. O edifício original, em betão e com dois andares, foi construído em 1974 e estava desocupado. Além disso, a vegetação apresentava um crescimento descontrolado e obstruía a entrada principal do edifício.



Figura 32 - Uso de vigas LSL para fixação dos painéis de vidro

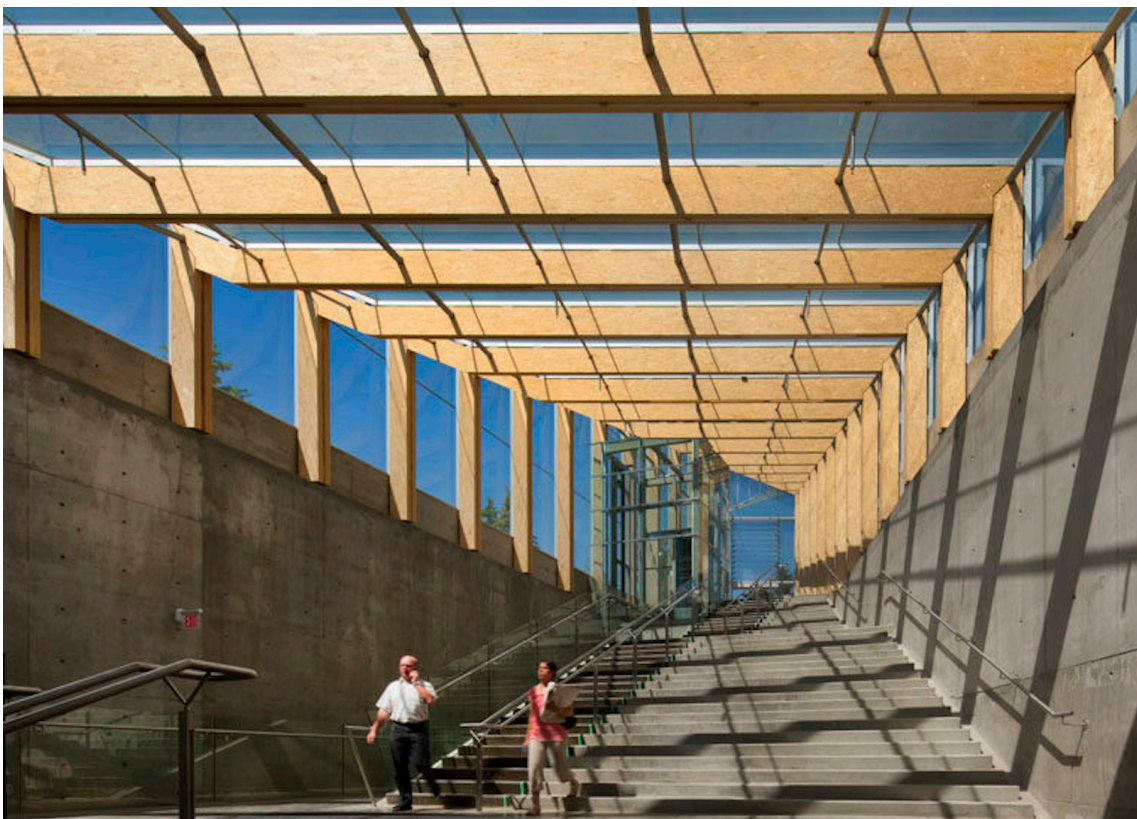


Figura 33 - Estrutura em LSL numa cobertura

A intervenção visou transformar o edifício para albergar departamentos cívicos, criando um ambiente de trabalho flexível e produtivo, assim como uma interligação entre os diversos serviços municipais e o público. A sustentabilidade constituiu um pilar central do projeto, que incluiu a homenagem a uma árvore preexistente com 80 anos. Para tal, o arquiteto integrou a madeira do olmo no revestimento da parede das escadas do átrio.

No átrio central, com quase 70 metros de comprimento, foi criada uma estrutura de madeira maciça, proveniente do olmo removido do local. Nas paredes, foram aplicados painéis de madeira LSL que destacam a área do átrio, incluindo uma parede especificamente projetada para evocar a madeira colocada nos pátios das serrarias, nos primórdios de North Vancouver. Este espaço é apoiado por pilares de madeira lamelada colada (MLC), proporcionando uma interligação entre os vários espaços. Adicionalmente, foram propostos balcões de atendimento e a reconversão da biblioteca existente em escritórios para funcionários e salas para reuniões.

A elevada resistência, rigidez e estabilidade dimensional deste derivado de madeira, juntamente com a qualidade superior que apresenta face à madeira maciça, pela ausência de defeitos naturais, permitiu vencer os grandes vãos do átrio, sem a necessidade de apoios intermédios evitando assim fundações adicionais. O uso de LSL possibilitou um maior controlo de qualidade, principalmente no teto e na estrutura, uma vez que as vigas são produzidas em fábrica e a sua montagem é mais rápida no local. Isto possibilitou a intervenção no edifício sem a necessidade de interromper o seu funcionamento. Além disso, o formato em caixa das vigas, permitiu ocultar as instalações elétricas e outros serviços na própria estrutura, o que facilitou a execução de obra e contribuiu para um acabamento visualmente mais limpo.

Devido à flexibilidade dos tamanhos do produto, foi possível criar painéis com diversos formatos, superando as limitações inerentes à madeira maciça. Esta característica traduziu-se num processo construtivo mais rápido, com a minimização do desperdício de material e redução da intrusividade no local da obra, em comparação com os métodos convencionais.

A utilização de LSL com diferentes dimensões nas paredes e tetos do átrio, permite marcar uma continuidade entre estes elementos, ao mesmo tempo que enfatiza os balcões de atendimento ao público, conferindo-lhes um papel de orientação para os utilizadores do espaço (Figura 34.a.). Além disso, o LSL foi deixado exposto como revestimento interior principal, com um tratamento de preservação transparente que lhe conferiu um efeito visual mais atrativo. Esta opção contribuiu, consequentemente, para a redução dos custos com os materiais de acabamento (Figura 34.c.).

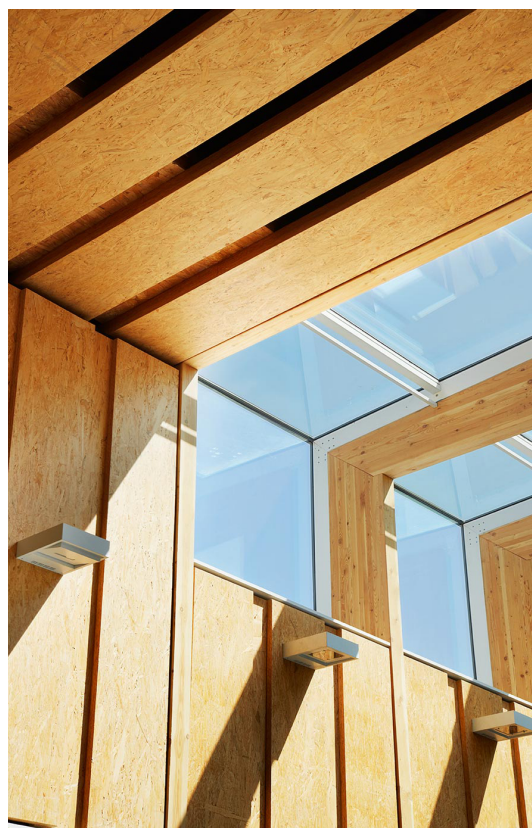
Com a sua utilização, ao entardecer, o volume retilíneo do átrio ilumina-se, revelando a estrutura de madeira de LSL, enquanto aparenta flutuar sobre a entrada principal do edifício emblemático, evidenciando o compromisso da cidade com a transparência cívica e do edifício com a sustentabilidade.



a. Elementos de LSL utilizados como revestimento tanto de paredes como teto



b. Vista das vigas LSL no teto



c. Pormenor do contacto entre as peças de LSL

Figura 34 - Reutilização e ampliação do *North Vancouver City Hall* - Escritório *Michael Green Architecture*

2.2.1.4. Madeira Lamelada Colada (MLC) - Glued Laminated Timber (GLT)

Uma das opções que tem ganhado mais força na construção é o uso de madeira lamelada colada (MLC), sendo uma alternativa ao aço e ao betão. Esta solução apresenta melhor desempenho em relação ao fogo e a sismos, é leve e pode ser pré-fabricada em diferentes dimensões, conferindo um aspeto mais natural e acolhedor aos edifícios e espaços em geral. A madeira-prima utilizada no MLC pertence à categoria das resinosas e é composta por pranchas, chamadas de lamelas, coladas umas às outras, de topo a topo, em ligações de juntas dentadas tanto na longitudinal como na transversal, utilizando colas específicas para alcançar o comprimento e a seção desejados. Essas peças possuem espessuras máximas de 50 mm e comprimentos que variam entre 1,5 m e 5 m.

Quanto ao tipo de madeira que pode formar, as peças lameladas coladas podem ser homogêneas, onde todas as lamelas pertencem à mesma classe de resistência e/ou espécie, ou combinadas, com lamelas de diferentes classes de resistência e/ou espécies (Figura 35). Esse tipo de produto começou a ser utilizado entre o final do século XIX e o início do século XX, com um avanço significativo após a Segunda Guerra Mundial devido ao surgimento das resinas sintéticas (Silva et al., 2013; Cachim, 2014).

Esta tecnologia permitiu, através de uma seleção rigorosa, eliminar os defeitos naturais da madeira antes do processo de colagem, resultando em elementos mais uniformes, versáteis e resistentes. As peças são preferencialmente coladas transversalmente, paralelas, umas sobre as outras, e também longitudinalmente, o que reduz a tendência a formar fendas, já que as tensões são absorvidas por estarem contrariadas (Figura 36). Esta composição, em conjunto com a cola aplicada, permite que a madeira lamelada colada suporte tensões maiores do que a madeira maciça. Devido a ter essas características, esse tipo de madeira tornou-se altamente vantajosa para construções estruturais com grandes vãos, como coberturas e passadiços pedonais (Silva et al., 2013; Cachim, 2014).

Para produzir este produto, começa-se pela preparação das pranchas, colocando-as numa estufa para a secagem, de modo a alcançar um teor de humidade entre 0% e 15%, conforme exigido pelas colas utilizadas na colagem. Em seguida, realiza-se o aplainamento das lamelas, a sua classificação e a preparação dos topos. Após isso, as pranchas passam por um processo para criar as juntas dentadas, onde de seguida se aplica a cola. Cada peça é unida de topo a topo, com as juntas sendo apertadas por, no mínimo, dois segundos e, em seguida, é cortada à medida desejada.

Depois desse processo, as lamelas necessitam repousar por oito ou mais horas para que a cola solidifique. Em seguida, regulariza-se os elementos aplicando cola entre eles e exercendo pressão sobre as peças, de forma a criar uma viga. Pode-se usar guias retas ou curvas, conforme o formato desejado para a viga.



Figura 35 - Colagem de uma viga MLC em forma curva



Figura 36 - Viga de MLC

Depois deixa-se a viga sob pressão durante seis ou mais horas num ambiente controlado (20°C, 65% de humidade relativa). Numa fase final, a viga passa por acabamentos que incluem o aplainamento lateral para remover o excesso de cola e desempenar as peças, os furos para as ligações e a aplicação de pinturas protetoras.

O MLC não possui dimensões limitadas; as suas medidas são determinadas apenas pelo tamanho máximo dos meios de transporte desde a fábrica até ao local da obra (Cachim, 2014). No mesmo grupo das madeiras lameladas coladas, podemos incluir os painéis SWP (*Structural Wood Panels*), ou painéis estruturais multicamada. Estes painéis são compostos por tábuas, ripas ou barras de madeira unidas através de um processo de colagem a partir de moldes. Este produto é recomendado para qualquer tipologia construtiva: desde projetos residenciais até pavilhões industriais, sendo uma solução viável para várias tipologias de reabilitação e reutilização como para construção nova. Este tipo de material é versátil e adaptável para diversas aplicações, como em vigas, pilares, coberturas, passagens pedonais, escadas, painéis e revestimentos. Este tipo de madeira estrutural distingue-se pela sua capacidade de moldar formas curvas e arqueadas, tanto nos pilares como nas vigas. Além disso, a ampla variedade de espécies de madeiras disponíveis dá a este material uma boa paleta de cores; A união entre as peças é normalmente efetuada com a ajuda de parafusos ou um sistema de chapas metálicas e porcas (Migliani, 2019; Cachim, 2014).

Principais características:

- Apresenta um desempenho superior no que diz respeito a alterações de humidade como empenamento e/ou torção;
- Podem cobrir vãos até 100 metros sem apoio intermédio;
- Relação peso/resistência superior: estudos comprovam que uma viga de MLC possui a mesma resistência que uma viga de betão (do mesmo volume); no entanto, o peso da peça em madeira chega a ser, aproximadamente, cinco vezes menor;
- Menor necessidade de ligações, quando comparadas com as estruturas de madeiras feitas com peças maciças, uma vez que são dimensionadas prevendo grandes vãos;
- Menor risco no comportamento de contração e inchamento;
- Apresenta dimensões singulares graças à sua elevada capacidade de elevada capacidade de carga e um baixo peso próprio;
- Material leve: permite uma maior facilidade na sua manutenção e nas etapas de montagem/desmontagem;
- Possui uma resistência satisfatória a diversas substâncias químicas;

- Boa estabilidade dimensional, sendo produzido a uma humidade controlada (12%), o que corresponde a uma humidade de equilíbrio (20°C e 65% de humidade relativa);
- Altas resistências ao fogo, as estruturas feitas com madeira lamelada colada são mais seguras do que as de aço (quando desprotegido) no requisito contra-fogo. Isto porque forma-se uma camada carbonizada em torno do núcleo, diminuindo a entrada de oxigénio e retardando a combustão;
- Possibilidade de obter secções de peças sem a limitação de ter de seguir a geometria do tronco das árvores;
- Produto versátil;
- Produto altamente atrativo do ponto de vista funcional e estético;
- Produto mais homogéneo e mais resistente (Migliani, 2019; Martins, 2021);

Potencialidades da utilização na reutilização de edifícios:

Sendo um derivado estrutural, o MLC apresenta alta rigidez e resistência mecânica, bem como grande capacidade de carga axial. Esta propriedade revela-se importante na reabilitação/reutilização de edifícios existentes já que permite a construção de estruturas com vãos de grande dimensão, até 100 metros, sem a necessidade de apoio intermédio. Consequentemente, a exigência de ligações é menor em comparação com estruturas de madeira maciça, o que se traduz numa maior flexibilidade espacial e na minimização de intervenções invasivas nas fundações dos edifícios existentes.

Este desempenho é resultado do seu processo de fabrico. Embora a madeira seja um material combustível, o MLC apresenta uma elevada resistência ao fogo, sendo mais segura do que as estruturas de aço desprotegido. Em caso de incêndio, forma-se uma camada carbonizada protetora em torno do seu núcleo, a qual diminui a entrada de oxigénio e retarda a combustão. Esta característica permite que a parte não queimada preserve a resistência estrutural por um período de tempo calculável, crucial para a evacuação. Adicionalmente, este produto é apropriado para resistir a ambientes quimicamente agressivos, visto que não é suscetível à corrosão ou à oxidação. A incorporação de colas sintéticas de elevada durabilidade confere-lhe maior estabilidade e menor higroscopicidade, ou seja, uma reduzida suscetibilidade a alterações dimensionais decorrentes de variações de humidade, o que também contribui para um menor risco de contração e inchamento. Esta característica é de extrema relevância na integração com estruturas existentes, muitas vezes sujeitas a movimentos diferenciais ou variações higrótérmicas, garantindo a longevidade e a integridade da intervenção de reutilização.

Na figura 37, é apresentada uma reutilização do edifício emblemático Palais Rameau, construído em Lille em 1878, em homenagem ao legado de Charles Rameau, presidente da sociedade de Horticultura da cidade. Este edifício foi classificado como Monumento Histórico em 2002, possuindo um enorme valor arquitetónico.

Devido à sua classificação histórica e às inerentes restrições patrimoniais do local, a reversibilidade constituiu uma das prioridades primordiais deste projeto. Esta premissa ditou uma abordagem arquitetónica inovadora e demonstrativa, culminando na concepção de um programa modular e evolutivo. A solução adotada consistiu na criação de intervenções interiores integralmente desvinculadas da envolvente do monumento histórico. Tal estratégia assegura a preservação do edifício no seu estado original, sem qualquer intervenção permanente no seu tecido pré-existente. Este princípio é crucial para a salvaguarda do património construído, viabilizando a adaptação de novas necessidades sem comprometer a identidade original (Figura 37.a.). Adicionalmente, a utilização de derivados de madeira, nomeadamente do MLC de choupo e os painéis de CLT de abeto, oferece inúmeras vantagens intrínsecas.

O uso do MLC permitiu a criação de uma estrutura interna leve, nova e autónoma, que evita a sobrecarga ou intervenção nas paredes originais de alvenaria (Figura 37.b.). Esta independência estrutural é a espinha dorsal da reversibilidade do projeto, permitindo que, se necessário, os elementos de MLC e CLT possam ser removidos, devolvendo o edifício à sua configuração original. A integração harmoniosa das peças de MLC com o existente respeita profundamente a identidade do local.

Para isso, foi criado um novo sistema estrutural primário, composto por um esqueleto de pilares e vigas em MLC. O sistema secundário, por sua vez, é composto por divisórias feitas por módulos amovíveis. Ambos os sistemas garantem uma melhor integração da nova construção. Além disso, a aplicação do MLC assegura ao espaço um carácter mais atrativo e acolhedor, propiciando o usufruto pela população. Para além da madeira lamelada colada (MLC), este projeto recorre, para as novas lajes, a painéis de CLT em madeira de abeto, criando assim um contraste visual e material. A pré-fabricação e a montagem de módulos permitem uma maior flexibilidade de reconfiguração dos espaços.

A qualidade estética intrínseca do MLC permite que seja assumida como acabamento final, contribuindo para a criação de ambientes atrativos e convidativos (Figura 37.c.). A exposição conjunta da estrutura de MLC e dos painéis de CLT, utilizados para as novas lajes, realça a materialidade e a intencionalidade do projeto, estabelecendo um diálogo visível entre as novas intervenções e a preexistência. Assim, este projeto demonstra como a arquitetura contemporânea pode dialogar com o património, promovendo a inovação sem abdicar da memória e da sustentabilidade.



a. Vista que destaca a integração harmoniosa das peças de MLC com o existente, respeitando a sua identidade



b. Pormenor de uma viga em MLC



c. Pormenor de um pilar em MLC

Figura 37 - Reutilização do *Palais Rameau* - Escritório *Atelier 9.81*

2.2.1.5. Vigas I (I-Joists)

As vigas I, assim identificadas pela forma da sua secção, são elementos à base de madeira desenvolvidas principalmente para resistir às forças de flexão. Normalmente, estas peças são fabricadas com diferentes tipos de madeira: os banzos podem ser feitos de madeira maciça, LVL (*Laminated Veneer Lumber*) ou LSL (*Laminated Strand Lumber*), enquanto que as almas são geralmente feitas de OSB (*Oriented Strand Board*) ou contraplacado (Figura 38).

Este tipo de viga começou a ser produzido a partir da década de 1970 e em comparação com a madeira maciça, as vigas I revelam-se significativamente superiores em termos de resistência/peso, permitindo uma estrutura mais eficiente (Figura 39). Além disso, esses elementos oferecem melhor estabilidade dimensional e menor variabilidade das propriedades mecânicas (Cachim, 2014).

Os pontos mais delicados dessas vigas são a conexão entre os banzos e as almas, bem como o painel que as forma. O processo de produção destas vigas inicia-se com o fabrico das almas a partir de painéis OSB ou contraplacados, que são serrados nas medidas pretendidas, com especial atenção às bordas, dando uma forma perfeita. É possível obter banzos com teores de humidade entre 8% e 18% e almas com humidade entre 5% e 10%. As bordas das almas são perfiladas para garantir uma conexão efetiva com os banzos. Os banzos são, então, cortados e realizam-se as ranhuras para o encaixe das almas. Finalmente, as duas peças são coladas secas em estufa, e cortadas com dimensões finais (Cachim, 2014; Sven & Larsen, 2003).

Este material é utilizado especialmente para vigas e a variação das conexões entre os banzos e as almas depende da empresa fabricante, devido às diferentes patentes. Normalmente, são usadas resinas para tapar as juntas das conexões entre alma com alma e alma com banzo. Para criar vigas I mais longas, geralmente acrescentam-se peças menores através de união de dedos juntos (Sven & Larsen, 2003). Este produto mostra-se uma solução viável para a reutilização de edifícios com estruturas tradicionais e paredes estruturais em pedra, alvenaria e lajes em madeira. Ao permitir intervenções pouco invasivas ao edifício existente, como fundações ou pilares, preservam-se as características originais da construção (Jular, 2024).

Principais características:

- Em projetos de reabilitação/reutilização, não é necessária a instalação de uma segunda estrutura de suporte à laje;



Figura 38 - Viga I



Figura 39 - Uso de vigas I em estruturas de pavimento

- Ausência de cofragem;
- Solução seca;
- As lajes são bastante leves com as vigas I;
- Rapidez na montagem;
- Fácil de manusear e instalar nos locais desejados;
- Não requer o uso de máquinas pesadas para o transporte;
- Desmontável/reversível;
- Permite a criação de furos em vigas até 175 mm de diâmetro para a passagem de condutas;
- Solução mais económica (Jular, 2024; Martins, 2021);

Potencialidades da utilização na reutilização de edifícios:

Este produto distingue-se por dispensar a necessidade de cofragem, o que o estabelece como uma solução intrinsecamente económica. Esta otimização de custos advém da rapidez de execução e da menor exigência de mão de obra e equipamento, bem como da simplificação dos processos de instalação e da consequente rapidez na montagem. A natureza pré-fabricada contribuiu para uma redução significativa de materiais e mão de obra associados a processos de moldagem. Tal abordagem otimiza o fluxo de trabalho e minimiza a formação de resíduos em estaleiro, aspetos que impactam positivamente o orçamento global do projeto.

Adicionalmente, as Vigas I permitem a criação de furos até 175 mm de diâmetro nas suas almas, possibilitando a passagem integrada de diversas condutas, como as de eletricidade, canalização ou climatização. Esta característica otimiza o espaço útil e promove a integração oculta de instalações técnicas, evitando intervenções adicionais que implicariam a abertura de buracos em elementos construtivos preexistentes, com a consequente redução de desperdício.

Em projetos de reabilitação e reutilização, a adoção das Vigas I elimina a necessidade de instalação de uma segunda estrutura de suporte à laje, o que simplifica consideravelmente as intervenções estruturais. Esta característica permite que o novo sistema se integre de forma menos intensiva nas construções existentes, contribuindo para a preservação, sempre que possível, das características originais do edifício. Adicionalmente, as Vigas I configuram-se como uma solução construtiva seca, dispensando o uso de argamassas, betão ou colas para a sua instalação. Este método de construção acelera o cronograma da obra, uma vez que elimina os tempos de cura ou secagem, e minimiza os riscos de problemas associados à humidade no processo construtivo, resultando num ambiente de trabalho mais limpo e numa rapidez na conclusão da intervenção.



Figura 40 - Viga I utilizada também como elemento decorativo



Figura 41 - Pormenor da ligação da viga I com a estrutura

Na figura 42, apresenta-se um projeto de reabilitação e reutilização de um edifício de três pisos, localizado na rua Sá da Bandeira, com o propósito de integrar um programa dedicado à fotografia. O imóvel está situado numa zona histórica do Porto, caracterizada por uma fachada urbana consolidada e que não pode ser alterada.

A escolha de materiais leves e de fácil transporte facilitou a sua colocação e instalação nos locais desejados. A preservação do carácter original do edifício era uma questão fucral neste projeto, por isto, a seleção de um material reversível e de baixa intrusividade revelou-se vital. Neste contexto, a opção recaiu sobre as vigas I em madeira, visando uma melhor adaptação do espaço às novas exigências funcionais e normativas. No piso intermédio, as vigas I foram empregues na reconstrução da laje, o que facilitou a integração de condutas e tubagens diversas (Figura 42.a.). Esta característica é particularmente valiosa em reabilitações, dado que a passagem de infraestruturas modernas em estruturas existentes pode ser um desafio complexo. O design das vigas I, com a sua configuração em caixa, possibilitou a ocultação das instalações elétricas e outros serviços no interior da estrutura, proporcionando um acabamento visualmente mais limpo ao espaço (Figura 42.b.).

Nos pisos superiores, onde se implementaram programas como escritórios, uma academia para *workshops* e um estúdio fotográfico, além de três apartamentos, a utilização das vigas I nas lajes de pavimentos foi consistente. A sua leveza demonstrou ser uma vantagem decisiva, evitando a sobrecarga das estruturas preexistentes, em particular as paredes de alvenaria de pedra, elemento distinto da construção do século XIX. Esta característica foi crucial para minimizar a necessidade de reforços adicionais nas fundações e, conseqüentemente, preservar a estrutura original do edifício.

A utilização deste derivado de madeira promove uma harmoniosa integração com os materiais preexistentes e, pela sua reversibilidade, confere flexibilidade a futuras intervenções no edifício sem comprometer a sua integridade (Figura 42.c.). O baixo peso facilita a manipulação em contextos urbanos densos e em edifícios históricos, onde o acesso é restrito e o uso de maquinaria pesada deve ser minimizada, o que também otimiza os custos de obra e os prazos de execução.

Adicionalmente, a sua compatibilidade com outros sistemas estruturais permite a integração em lajes mistas ou coberturas. Esta adaptabilidade confere flexibilidade ao desenho arquitetónico e possibilita que as condições preexistentes acomodam variações geométricas. As vigas I constituem uma solução de construção a seco, que elimina a necessidade de cofragem, argamassa, betão ou colas para a sua instalação, o que agiliza significativamente o processo construtivo. A cobertura do edifício, com revestimento em zinco e telha, foi concebida sobre uma nova estrutura de vigas I. A leveza e a rapidez de montagem das vigas I revelam-se fatores críticos na reabilitação de coberturas, uma vez que reduzem o tempo de exposição da estrutura às intempéries durante a intervenção.



a. Pavimento composto por vigas I



b. Pormenor da facilidade da aplicação de tubagens



c. Pormenor da ligação da viga I com a viga mestre

Figura 42 - *Leica Gallery* Porto - Empresa Jular

2.2.1.6. Madeira Lamelada Colada Cruzada (LCC) – Cross Laminated Timber (CLT)

O CLT (*Cross Laminated Timber*), ou madeira lamelada colada cruzada, foi desenvolvido na Suíça nos anos 1990. Este material pertence à família das madeiras lameladas e foi criado para proporcionar maior estabilidade dimensional e resistência quando utilizado em sistemas estruturais (Figura 43). Assim como as pranchas de MLC, o CLT apresenta excelentes propriedades de resistência ao fogo, ótimo isolamento acústico, baixa condutividade térmica e rapidez na fabricação e montagem. Para uma comparação dos pesos dos materiais, 1 m³ de betão pesa aproximadamente 2,7 toneladas, enquanto que 1 m³ de CLT pesa apenas 400 kg, proporcionando a mesma resistência. O mesmo se aplica ao aço (Cachim, 2014; Franco, 2020).

Como todos os derivados de madeira, um dos maiores inimigos do CLT é a humidade e as condições climáticas. Este tipo de madeira é frequentemente utilizado em áreas externas e como componente estrutural, portanto, deve ser bem protegido para evitar problemas que possam comprometer sua capacidade estrutural. Quando não se pretende assumir a sua materialidade, podem-se aplicar camadas de revestimento protetoras. Caso o CLT seja usado como acabamento, atualmente existe uma variedade de óleos vegetais, ideais para interiores, e tintas minerais para exteriores, que são produtos inodoros e que podem ser aplicados por qualquer pessoa, desde que sejam tomados os cuidados necessários. Apresenta a vantagem de ser uma obra seca, permitindo que em simultâneo sejam executadas a instalação de outros sistemas técnicos, a aplicação de isolamentos e de revestimentos interiores e exteriores.(Franco, 2020; Pessoa, 2016).

Diferente dos painéis de madeira lamelada colada, o CLT contém lamelas coladas em camadas ortogonais entre si, o que lhe confere maior resistência às forças aplicadas em plano. A produção dos painéis em fábrica, num ambiente controlado, permite alta precisão, eliminando a necessidade de ajustes na obra. Dessa forma, a montagem pode ser realizada por pessoas sem experiência específica, facilitando o processo (Cachim, 2014; Silva, 2014).

O CLT, pela sua versatilidade, pode ser utilizado tanto em elementos individuais como em painéis, sendo uma solução viável para a reutilização. A sua leveza e resistência permite a aplicação em fachadas, divisórias e, até, como sistema estrutural principal, podendo definir todos os elementos da estrutura acima do solo (Figura 44).

Essa característica torna o CLT especialmente adequado para uso em paredes, vigas, ou em secções planas como pavimentos, lajes e coberturas, devido a uma superior resistência e eficácia.



Figura 43 - Peça de CLT



Figura 44 - Montagem de painéis de CLT para paredes e pisos

Este tipo de material pode ser aplicado tanto em construções novas como em intervenções de reconstrução e reutilização. No contexto de reabilitações, a sua notável estabilidade e resistência a sismos exigem análises prévias aprofundadas para assegurar a segurança estrutural do edifício. Adicionalmente, este produto facilita a desmontagem e a substituição de elementos de madeira em fim de vida, promovendo a sua reutilização e contribuindo para a redução da poluição e dos resíduos produzidos. Nesse sentido, a aplicação de painéis CLT em projetos de intervenção sobre edifícios existentes possibilita intervenções menos intrusivas, quer a nível estrutural, quer arquitetónico (Mezeiro, 2018).

Principais características:

- Grande liberdade de desenho;
- Aplicável a qualquer tipo de construção: moradias, escolas, escritórios, hotéis, naves industriais;
- Grande estabilidade;
- Grande capacidade de carga axial;
- Resistente a ações laterais e forças de compressão, tornando este produto uma opção para construção de edifícios com grandes vãos;
- Componentes de construção sólidos, sem necessidade de reforços extra;
- Alta resistência ao cisalhamento;
- Ligações simples;
- Conceção simples e planeamento detalhado dos elementos construtivos;
- Montagem económica, com tempo reduzido de permanência no local;
- Elementos construtivos prontos a instalar, dentro dos prazos definidos;
- Sistema pré-fabricado que proporciona uma montagem rápida, simples e eficaz;
- Construção similar para todas as aplicações (paredes, tetos, coberturas);
- Margem de erro mínima;
- Resistente ao fogo;
- Excelente desempenho ao nível do isolamento térmico e acústico;
- Proporciona um ambiente interior agradável, devido à construção com humidade controlada;
- Construção em madeira de elevada qualidade, sólida e durável (Jular, 2024; Martins, 2021);



Figura 45 - Criação de uma nova estrutura em CLT num edifício existente



Figura 46 - Uso do CLT em paredes, coberturas e portas

Potencialidades da utilização na reutilização de edifícios:

O CLT, sendo um elemento estrutural, pode ser integrado em edifícios a reutilizar sem sobrecarregar as estruturas existentes, podendo inclusive reforçar a intervenção. A sua leveza e a precisão dimensional inerente ao processo de fabrico, facilitam as operações de estaleiro e aplicação, permitindo a definição de peças com as dimensões pretendidas e com uma margem de erro praticamente nula. A capacidade deste material para vencer grandes vãos confere uma ampla liberdade de desenho, diminuindo a necessidade de intervenções para garantir a estabilidade, por exemplo, ao restringir o número de elementos de fundação. A versatilidade do CLT permite-lhe ser utilizado tanto como elemento estrutural quanto não estrutural, abrangendo aplicações em tetos, paredes e coberturas. Tal característica, simplifica as operações de construção e montagem no local, minimizando a necessidade de diversas ferramentas e outros materiais. Dado que a sua materialidade pode ser assumida como acabamento final, este produto contribui para a otimização dos trabalhos em obra, resultando numa uniformidade arquitetónica superior e na contenção de custos, pela eliminação da necessidade de revestimentos adicionais. Para além disso, a sua resistência ao fogo e o excelente desempenho térmico e acústico, promovem o desenvolvimento de soluções de grande flexibilidade.

Na figura 47, é apresentado o projeto de reutilização da *Gare Maritime*, uma antiga estação ferroviária do início do século XX, localizada na *Rue Picard*, em Bruxelas, na Bélgica. A aplicação do CLT neste projeto evidencia as potencialidades deste material na reutilização e adaptação de edifícios. A criação de espaços para as novas funções programáticas materializou-se com a construção de doze novos pavilhões, implementados no amplo espaço disponível sob a cobertura metálica da *Gare* (Figura 47.a.). As propriedades estruturais do CLT viabilizaram a construção integral destes pavilhões, que se assumem como elementos totalmente autónomos em relação à estrutura existente.

O resultado desta intervenção é uma relação equilibrada entre o pré-existente e a nova materialidade do CLT, promovendo a coexistência harmoniosa de ambos sem comprometer a identidade original da *Gare* (Figura 47.b.). Adicionalmente, esta solução contribuiu para a eficácia do processo construtivo, uma vez que as características intrínsecas da pré-fabricação e do método de construção a seco reduziram consideravelmente o tempo da operação. Garante-se, ainda, a reversibilidade da intervenção, possibilitando a remoção dos elementos de CLT a qualquer momento. A liberdade de desenho e a capacidade de vencer grandes vãos com um número reduzido de elementos estruturais permitiram a criação de novos espaços que, por sua vez, mantêm a sensação de amplitude e o caráter de amplo interior da *Gare*, assegurando a preservação da sua traça arquitetónica original (Figura 47.c.). Outrora a maior estação ferroviária de mercadorias da Europa, a *Gare Maritime* foi reaproveitada para um programa misto de trabalho e comércio com extensos espaços públicos, transformando-se num complexo multifuncional que evoca uma pequena cidade coberta. A sustentabilidade emergiu como um conceito central neste projeto, o que levou à adoção do CLT. Esta intervenção, ao preservar um marco histórico da cidade, permitiu que o edifício se tornasse totalmente neutro em energia e livre de combustíveis fósseis.



a. Nova construção em CLT montada dentro de um edifício, preservando assim a sua identidade



b. Pormenor da nova construção em conjunto com antiga



c. Uso do CLT nas várias partes do projeto

Figura 47 - Reutilização da *Gare Maritime Brussels* - Escritório *Neutelings Riedijk Architects and Bureau Bouwtechniek*

2.2.2. Produtos com aplicações Não Estruturais

Aglomerado

É um tipo de madeira que é fabricada, comprimindo pequenas partículas de madeira ou lascas juntamente com resina. É um material económico e adaptável que é habitualmente usado para a produção de móveis, carpintaria, prateleiras e painéis de paredes interiores.

2.2.2.1. *Medium Density Fiberboard* – (MDF)

O MDF (painel de fibras de média densidade) é produzido através da desfibração de pedaços de madeira (Figura 48), cujas fibras são, posteriormente, aglutinadas com resinas e colas sob elevadas pressões e temperaturas, num processo seco, compacto e homogéneo ao longo de toda a sua espessura (Banema, 2024). Os painéis de MDF exibem boa estabilidade estrutural, devido à disposição aleatória das fibras, e apresentam um acabamento liso em ambos os lados, revelando-se particularmente adequados para a lacagem. Em Portugal, os painéis de MDF são constituídos por 95% de madeira de pinho, a espécie arbórea mais abundante no país (Silva, 2014).

O MDF é o material derivado mais utilizado para substituir a madeira maciça, sendo amplamente aplicado em diversas áreas, especialmente em pavimentos, decoração e móveis (Figura 49). Este material destaca-se pela sua boa resistência à humidade e ao fogo, além de estar disponível em diferentes cores, cada uma destinada a utilizações específicas. O verde é adequado para áreas com alta humidade, o vermelho é adequado para áreas sujeitas ao calor, com um baixo grau de inflamabilidade, e o amarelo é o padrão. Além disso, o MDF exhibe excelente maquinabilidade e homogeneidade, tornando-o ideal para uso na construção (Silva et al., 2013).

Principais características:

- Oferece uma relação excelente entre força e peso;
- O material tem grande resistência mecânica, semelhante a outros produtos de madeira com classes estruturais semelhantes, como o contraplacado;
- Possui alta rigidez e alta resistência à deformação, rutura e delaminação, graças ao seu processo de fabricação;
- Demonstra um bom comportamento e tanto em ambientes secos como húmidos, com painéis estruturais que apresentam excelentes propriedades físicas e mecânicas, cumprindo as normas de construção;



Figura 48 - Diferentes tipos de MDF



Figura 49 - Antes e depois do uso de MDF como revestimento

- Facilmente manuseado, pode ser pregado e aparafusado nos cantos sem desenvolver rachaduras, e pode ser lixado, serrado ou pintado com facilidade;
- É possível criar painéis de MDF com menor densidade sem perder resistência, sendo utilizados especificamente na produção de materiais com limite de peso, como portas de guarda-roupa e soluções para estabelecimentos comerciais;
- O MDF padrão tem uma variedade de aplicações e é usado especificamente em ambientes secos, como interiores, em portas, móveis, revestimentos e decoração.
- É um derivado de madeira facilmente moldável para composições curvas, devido a uma face ranhurada que lhe confere esta flexibilidade (Silva et al., 2013);
- É um excelente produto para aplicações decorativas devido à sua aparência e à facilidade de incorporação de pigmentos, permitindo a criação de painéis de diferentes cores;
- O MDF ignífugo apresenta uma melhor reação ao fogo (Euroclasse C e B);
- O MDF hidrófugo possui alta resistência à humidade, com baixo inchamento. É adequado para móveis em áreas sujeitas à humidade, como cozinhas, instalações sanitárias, apainelados de portas, janelas e lambris;
- Apresenta uma capacidade de isolamento termo-acústico;
- Apresenta um impacto ambiental reduzido, sendo composto por 100% de madeira, e pode ser reciclado no final da sua vida útil para criar outros derivados;
- É um produto atrativo e visualmente agradável;
- Boa durabilidade, mantendo as suas qualidades ao longo de todo o ciclo de vida quando utilizado como recomendado;
- É um material muito económico (Silva et al., 2013).

Potencialidades da utilização na reutilização de edifícios:

Este produto demonstra ser uma excelente solução para aplicações decorativas, devido à sua aparência intrínseca e à facilidade de incorporação de pigmentos, o que permite a criação de painéis com uma vasta gama de cores. Esta característica possibilita uma elevada adaptabilidade estética em projetos de interiores, como se observa na sua aplicação em mobiliário, revestimentos e decoração. Em intervenções de reabilitação/reutilização, esta flexibilidade estética é importante para harmonizar as novas adições com o carácter preexistente do edifício, ou para a criação de ambientes que rejuvenesçam o espaço e o tornam mais atrativo e funcional para novos usos. Adicionalmente, destaca-se a capacidade de criar painéis de MDF com menor densidade sem, contudo, perder resistência.

Esta propriedade torna-o particularmente adequado para a produção de materiais com limite de peso, como portas de roupeiros, e para facilitar a montagem e desmontagem em lojas. Esta flexibilidade no peso, aliada à manutenção da resistência, otimiza a sua utilização em soluções onde a leveza é um requisito essencial, minimizando a sobrecarga sobre as estruturas preexistentes e permitindo intervenções menos intrusivas. O MDF padrão possui uma ampla variedade de aplicações, sendo especificamente utilizado em ambientes secos, designadamente em interiores, portas, móveis, revestimentos e elementos decorativos em geral. A versatilidade deste tipo de MDF consolida a sua posição como um material de eleição para diversos fins não estruturais, permitindo a harmonização estética com o edificado existente ou a criação de novas atmosferas, com um vasto leque de opções decorativas. A variante MDF hidrófugo destaca-se pela sua alta resistência à humidade, apresentando reduzido inchamento. Esta característica torna-o adequado para aplicação em áreas sujeitas a humidade ocasional, como cozinhas e instalações sanitárias, bem como em apainelados de portas, janelas e lambris. O controlo do inchamento em ambientes húmidos é crucial para a durabilidade e estabilidade dimensional do material ao longo do tempo, aspeto vital na longevidade das intervenções de reutilização. Apresenta também uma variante de MDF ignífugo que oferece melhor resistência ao fogo. Esta propriedade, melhorada pelo acréscimo de aditivos específicos, aumenta a segurança em caso de incêndio ao retardar a propagação das chamas e reduzir a emissão de fumo.

O MDF oferece um comportamento rigoroso e bem definido tanto em ambientes secos como húmidos, com painéis que exibem excelentes propriedades físicas e mecânicas, em conformidade com as normas de construção. Esta consistência de desempenho em diversas condições ambientais é um fator crítico para a fiabilidade e durabilidade do material das intervenções em estruturas preexistentes, frequentemente sujeitas a variabilidade nas condições de humidade.

Apresenta um reduzido impacto ambiental, sendo composto por 100% de madeira. Esta característica natural permite que seja reciclado no final da sua vida útil para a criação de outros derivados de madeira, contribuindo para a economia circular e para a redução da pegada de carbono na construção. A sua aplicação em projetos de reutilização de edifícios, alinha-se com os imperativos de sustentabilidade atuais, minimizando o consumo de recursos virgens e as emissões de CO₂ associadas à demolição e à construção nova.

Na figura 50, é apresentado um projeto de reutilização de um antigo pavilhão existente para um novo programa desportivo, N-10-II Eiras, localizado na Travessa Vale Paraíso Sul, em Coimbra. A intervenção visou transformar o espaço para acolher um campo de futebol coberto e áreas de apoio essenciais, como receção, vestiários e chuveiros e uma sala de festas.

Para a concretização do novo programa, a utilização do MDF neste projeto permitiu a criação de um novo volume interior de forma eficaz e económica, sem comprometer a estrutura original do antigo armazém (Figura 50.a.). Este volume foi desenvolvido a ocupar toda a largura do pavilhão preexistente, cuja dimensão resulta da diferença entre o comprimento total do armazém e o do campo de futebol. Internamente, uma grelha de painéis de MDF cruza-se entre si, albergando as áreas da receção, vestiários, chuveiros e a sala de festas.

A versatilidade deste derivado foi demonstrada na aplicação em paredes, tetos e mobiliário, conferindo uma continuidade visual e material ao novo espaço. A entrada deste elemento situa-se na receção, organizando as duas áreas principais adjacentes. A escolha do MDF para este projeto visou, além da reutilização do edifício, a racionalização de recursos e uma fácil adaptação às dimensões do espaço existente.

A materialização deste volume concretizou-se através de uma armação em madeira, composta por uma estrutura de pórticos com vigas e colunas de pinho americano. Para o revestimento desta construção recorreu-se a placas de MDF, as quais, dada a sua aparência e facilidade de pintura ou lacagem, oferecem diversas aplicações decorativas, cobrindo paredes e teto.

A opção pelo MDF no seu aspeto cru constituiu uma decisão de projeto que visou valorizar a simplicidade intrínseca do material e estabelecer um diálogo com o contexto industrial do espaço preexistente (Figura 50.b.). A sua alta rigidez, resistência à deformação, rutura e delaminação, aliada a uma excelente relação entre força e peso, conferiu aos painéis de MDF a capacidade de desempenhar tanto papéis estruturais quanto formais na construção geral do volume. Adicionalmente às placas MDF, é utilizada diretamente cerâmica branca nos vestuários e na área dos chuveiros, de maneira a impermeabilizar estas zonas. O contraste material entre a cerâmica branca e o MDF hidrófugo nestes espaços húmidos fomenta um diálogo entre texturas opacas do MDF e brilhantes dos azulejos, bem como entre materiais conhecidos como quentes e frios. Este produto é amplamente reconhecido pela sua superfície lisa e homogénea em ambos os lados, o que o torna particularmente bom para a lacagem e pintura.

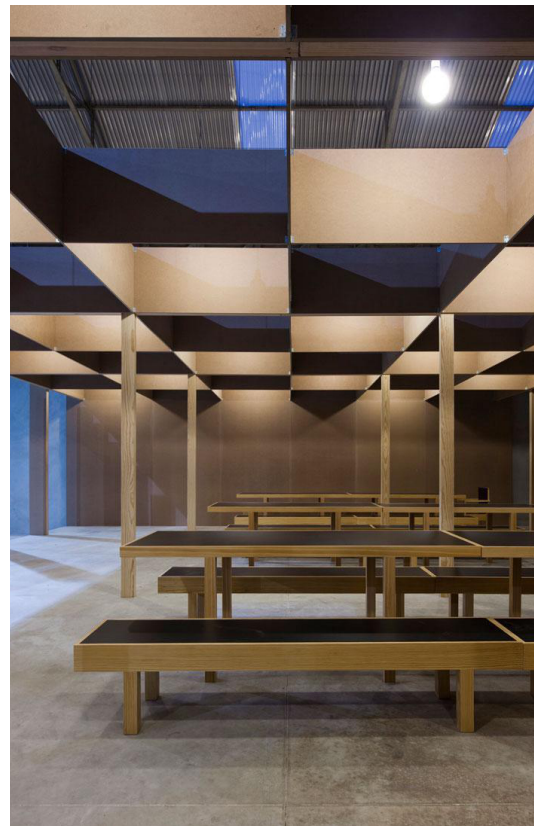
É visível o papel decorativo deste derivado de madeira, através da exploração da sua aparência e da facilidade de aplicação de tintas, nomeadamente nos mobiliários lacados a preto. A sua capacidade de incorporar pigmentos permite a criação de painéis em diferentes cores, contribuindo para evocar um ambiente mais confortável, atrativo e acolhedor. A iluminação deste volume foi concebida para realçar a plasticidade intensa e expressiva das características formais e materiais do volume, particularmente do MDF (Figura 50.c.). Por fim, a única mudança feita no edifício preexistente consistiu na criação de um acesso exterior, materializado através de uma abertura numa das paredes existentes e demarcado por uma estrutura metálica quadrada, que serve de ponto de referência para a entrada do pavilhão.



a. Reutilização de antigo armazém com a criação de uma estrutura em MDF para apoiar o campo de futebol



b. Pormenor do corredor criado em MDF



c. Efeito da luz na cobertura em MDF

Figura 50 - *N10-II Sports Facility* - Escritório COMOCO Arquitetos

2.2.2.2. High Density Fiberboard (HDF)

O aglomerado de fibra dura (HDF), também conhecido como platex, distingue-se de outros produtos derivados de madeira por dispensar resinas sintéticas na agregação das fibras (Figura 51). Neste material, a lignina, um agente aglutinante natural da própria madeira, é usado mediante um processo que combina altas pressões e temperaturas. Devido à formação com fibras intactas e em espessuras finas (2,5mm, 3,2mm, 5mm), o HDF apresenta grande uniformidade, estabilidade, resistência mecânica e densidade. Além de ser um material com grande história na família dos derivados de madeira, destaca-se como um produto sustentável, com características únicas resultantes do seu processo de produção (Silva, 2014).

O aglomerado de fibra dura tem uma cor acastanhada, é composto 100% por madeira e apresenta, dependendo do tipo de processo usado na sua produção (seco ou húmido), uma face lisa e outra com uma textura mais rugosa. A superfície lisa, em particular, tem um ótimo acabamento e dispensa a preparação ou lixagem para a aplicação de lacagem ou tintas (Silva, 2014).

Este produto pode ser utilizado em mobiliário, revestimentos e portas. Está disponível em painéis de forma compactada ou painéis furados, apresentando diversas aplicações com placas finas. Pode ser utilizado como painéis isolantes (térmicos ou acústicos), revestimentos de tetos, divisões interiores, bases do chão, em portas (Figura 52), tampos, pavimentos laminados, fundo de gavetas e é ideal como painel de fundo para mobiliário (Silva, 2014).

Principais características:

- Maior resistência mecânica e estabilidade e capacidade de maquinação;
- Material uniforme e que não se desfaz durante o corte;
- Material versátil;
- Alta densidade;
- Pode ser moldado em formas mais complexas com bordas curvas e recortes decorativos;
- Apresenta superfícies que possuem um ótimo acabamento sem ter que ser lixadas para serem pintadas ou lacadas;



Figura 51 - Aglomerado de fibra dura com diferentes acabamentos



Figura 52 - Uso de HDF no fabrico de portas interiores

- Produto com elevada homogeneidade;
- Maior resistência à humidade;
- Existem variações destes produtos que apresentam maior resistência ao fogo e à água (Homify, 2024; Martins, 2024; Barbosa, 2013);

Potencialidades da utilização na reutilização de edifícios:

Este produto derivado de madeira distingue-se pela sua elevada homogeneidade, que lhe confere uma excelente capacidade de maquinação, evidenciada na precisão com que o material pode ser cortado, furado ou moldado sem rachar, facilitando a criação de cantos e bordas perfeitas e detalhes rigorosos em projetos de reabilitação/reutilização. Em particular, nestes tipos de projetos, onde se torna frequente a integração de novos elementos em estruturas preexistentes que podem apresentar irregularidades, esta precisão é crucial para assegurar a coesão estética e funcional da intervenção.

A aplicação de tecnologias como o CNC potencializa a versatilidade do material, viabilizando a conformação em formas complexas, incluindo bordas curvas e recortes decorativos. Esta precisão no trabalho do material é crucial para a sua integração em projetos que exigem um elevado nível de detalhe e personalização. Tal capacidade permite tanto respeitar e complementar as geometrias originais do edificado, como introduzir novas linguagens estéticas, alcançando qualidade estética e funcional do elemento final.

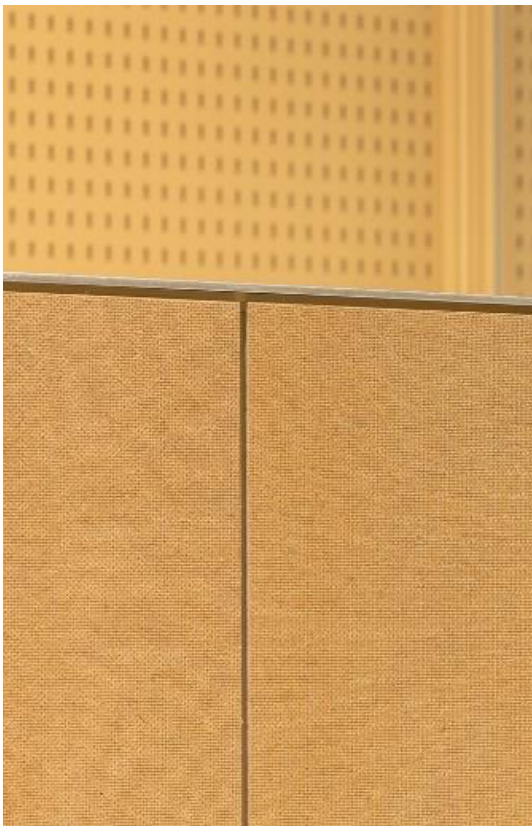
Na figura 53, é apresentado um projeto minimalista de um stand de café para a marca Blue Bottle Coffee na cidade de Tóquio. O Japão tem grande tradição no uso da madeira, e este projeto é um exemplo disso. Foi desenvolvido dentro de um edifício existente, e servirá de ponto de passagem para quem viaja e para quem pretende promover os seus produtos (Figura 53.a.). Prioriza uma paleta de cores específica, e evita o uso do branco, dada a tonalidade preexistente do piso. Por esse motivo o balcão foi inteiramente revestido em materiais de tons bege, como papel kraft e aglomerado de fibra dura (HDF).

Para os revestimentos dos móveis, foi utilizado HDF, um material outrora usado na parte de trás de mobiliário, como acabamento superficial, com o intuito de criar uma atmosfera nostálgica. Adicionalmente, a sua utilização permite obter frentes de móveis com acabamentos naturais, de cor quente, cantos e bordas perfeitos (Figura 53.b.).

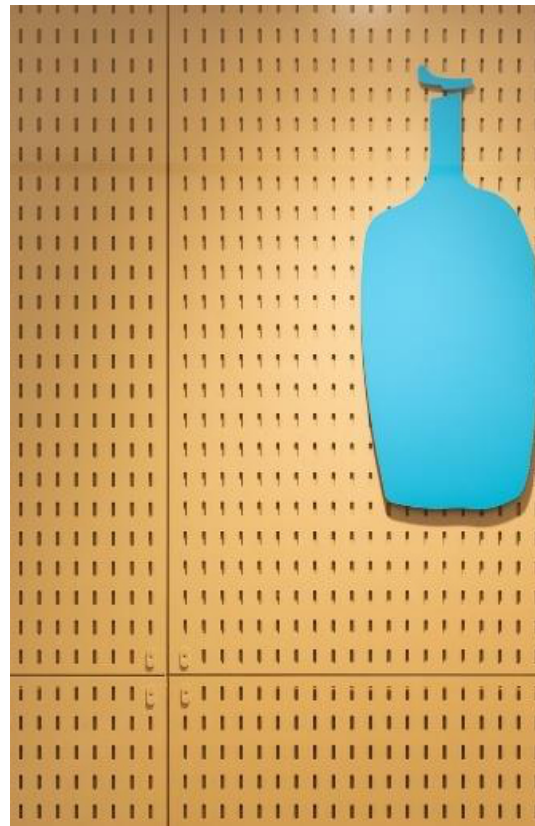
Por fim, nas paredes por trás do balcão, encontram-se painéis de HDF, com perfurações que permitem a fixação de prateleiras e que apresentam tons de cores escolhidas (Figura 53.c.). Este projeto demonstra como num espaço transitório existente e que não pode ser fechado, é possível criar, de forma económica e com produtos sustentáveis, um espaço atrativo, com boa integração, o que comprova a versatilidade deste produto.



a. Uso do HDF no mobiliário e no revestimento da parede com painéis que suportar prateleiras



b. Pormenor do HDF no mobiliário



c. Pormenor do HDF com furos no revestimento da parede

Figura 53 - *Blue Bottle Coffee Daimaru Tokyo Café Stand* - Escritório *Schemata Architects*

2.2.2.3. Aglomerado de Partículas de madeira

O aglomerado de partículas de madeira é produzido a partir de lascas, aparas, rebarbas e outras substâncias como lenho e/ou celulósicas, às quais se adiciona um adesivo (Figura 54). Em alguns casos, são adicionados aditivos para melhorar o desempenho do material; a mistura é depois prensada a quente, formando painéis. Este processo surgiu em meados da década de 1940, permitindo criar um material de fraca qualidade a partir de desperdícios de madeira (Silva, 2014).

Este material é maioritariamente produzido a partir da madeira oriunda do pinheiro bravo (98%). Os painéis podem ser homogêneos, ou seja, formados por uma só camada com partículas de dimensões parecidas em toda a espessura, ou por múltiplas camadas, normalmente três. Nestes últimos, as camadas exteriores são compostas por partículas mais finas e a camada central por partículas mais grossas, proporcionando superfícies adequadas para receber diversos tipos de acabamentos. O material é produzido com várias dimensões, e espessuras que variam entre 4mm a 30mm (Silva, 2014).

É o material mais usado dos produtos derivados da madeira e tem várias aplicações, como em tetos, paredes, mobiliário e revestimentos, sendo uma solução viável e económica para reabilitação de interiores (Figura 55). Consegue receber vários acabamentos, tais como pintura, revestimento com papel impregnado em resinas melamínicas, em ambas as faces, o que melhora a sua resistência e evita o empenamento, ou ainda, ser folheado com madeira natural (Silva, 2014). Existem quatro tipos de painéis de aglomerados de partículas: o aglomerado de partículas P2, que apresenta propriedades normais, o aglomerado de partículas P3, com maior estabilidade, o aglomerado de partículas P5, com propriedades de resistência à humidade melhoradas, e o aglomerado de partículas PB, com propriedades melhoradas para retardar o fogo.

Principais características:

- Densidade igual ou maior à da madeira (característica que lhe dá maior resistência);
- Material mais isotrópico;
- Matéria-prima homogênea, uma vez que o processo de produção retira nós e imperfeições encontradas na madeira, evitando que rache ou deforme e, por sua vez, aumentado a resistência;
- Possibilidade de trabalhar com ferramentas convencionais;



Figura 54 - Placas de Aglomerado de partículas em cru



Figura 55 - Uso de Aglomerado de partículas no revestimentos de paredes

- Resistência maior às pragas pela adição de resinas sintéticas na sua constituição;
- Baixa absorção e alteração de espessura;
- Baixo custo, pois é produzido com matéria-prima de qualidade inferior, proveniente de cortes prévios do povoamento (intervenções realizadas antes do corte final) como desramas, desbastes, pontas ou resíduos das indústrias de primeira transformação;
- Sustentável e reciclável (Silva, 2014; Kronospan, 2024);

Potencialidades da utilização na reutilização de edifícios:

O aglomerado de partículas distingue-se por ser mais isotrópico do que a madeira maciça, o que lhe confere propriedades mais homogêneas. Este aspeto resulta diretamente do seu processo de fabrico, que uniformiza a sua constituição ao remover nós e imperfeições inerentes à matéria-prima natural, revelando-se crucial na integração de novos elementos em estruturas preexistentes. A homogeneidade e previsibilidade do comportamento do material facilitam a precisão na execução e a consistência estética das intervenções, mesmo em edifícios que apresentem irregularidades ou assimetrias. Adicionalmente, a incorporação de resinas sintéticas na sua composição aumenta a resistência a pragas e a microorganismos, atributo particularmente relevante no âmbito da reutilização de edifícios, uma vez que as estruturas antigas podem ser mais suscetíveis a infestações, contribuindo para a durabilidade e longevidade da intervenção. Este produto revela-se altamente económico, já que é fabricado a partir de matéria-prima de qualidade inferior, como cortes intermédios, desramas, desbastes, pontas, ou resíduos de serração, tornando as intervenções em edifícios existentes mais acessíveis e viáveis.

Na figura 56, é apresentado um projeto para a nova escola primária, sendo este uma ampliação da Universidade de Teikyo, localizada em Tóquio, no Japão. A concepção foi desenvolvida pelo reconhecido arquiteto japonês Kengo Kuma, notável pela sua defesa e aplicação da madeira na arquitetura. O conceito do projeto privilegia a combinação de materiais tradicionais japoneses com uma abordagem arquitetónica mais contemporânea.

No interior, a linguagem arquitetónica contemporânea do edifício é enriquecida pela inclinação dos tetos e pisos, que confere uma sensação de maior amplitude às salas (Figura 56.a.). A adição do aglomerado de partículas nas paredes e tetos dos espaços interiores complementa esta estética, ao mesmo tempo que assegura uma atmosfera acolhedora e tátil, em linha com a intenção do arquiteto de proporcionar às crianças o calor e a suavidade da madeira (Figura 56.c.).

Este material, produzido a partir de materiais naturais e tradicionais japoneses, como lascas de palha, junco e álamo, representa uma escolha sustentável e economicamente vantajosa, dado que contribui para a valorização de desperdícios e a redução de custos de construção. A oportunidade que proporciona às crianças de experienciar estes elementos naturais, reciclados e vernaculares, alinham-se com os objetivos pedagógicos do projeto.



a. Uso do aglomerado no revestimento das paredes e da cobertura



b. Vista do exterior do aglomerado nas paredes



c. Uso do aglomerado no revestimento das portas

Figura 56 - Teikyo University Elementary School - Escritório Kengo Kuma

Para os painéis de parede acústicos, a incorporação de resinas sintéticas no aglomerado conferiu-lhe maior resistência contra pragas, um aspeto crucial para a durabilidade do material em contextos educacionais.

2.2.2.4. Aglomerado de partículas de madeiras ligadas com cimento (CBPB)

O aglomerado de partículas de madeira ligadas com cimento, CBPB (Cement-Bonded Particleboard), é constituído por 75% a 80% de cimento, normalmente do tipo Portland, e 20% a 25% de fibras de madeira (Figura 57). Ao contrário de outros produtos derivados, o CBPB dispensa a adição de resinas, uma vez que o próprio cimento assegura a ligação entre as partículas (Silva, 2014).

A Viroc, em Portugal, é responsável pela produção e distribuição deste produto, amplamente exportado. As placas de CBPB são, em geral, produzidas em três camadas, sendo que as camadas externas são compostas por partículas finas, o que permite obter uma superfície lisa, enquanto a camada central é composta por partículas mais grossas. Em função da sua aplicação, este tipo aglomerado pode apresentar diferentes acabamentos, como superfícies em bruto (aplicação para o exterior) ou lixadas (aplicação para o interior). Quando utilizado como revestimento, estes painéis podem ainda exibir variados aspetos, incluindo a aplicação de primário, pintura, revestimento com cerâmicos, folheados, laminados e até mesmo integração em painéis sanduíche (Silva, 2014). O painel de CBPB demonstra grande versatilidade, sendo possível a sua aplicação em diversas áreas, tanto em interiores como em exteriores, nomeadamente em fachadas, paredes divisórias, revestimento de paredes, pavimentos interiores, tetos falsos interiores e exteriores, decoração de interiores, mobiliário interior e exterior (Figura 58). A sua disponibilidade em várias cores e espessuras (8mm a 32mm), oferece grande flexibilidade de projeto (Silva, 2014).

Principais características:

- Alta capacidade mecânica - possui resistência à flexão o que permite que o mesmo seja usado como elemento complementar a um elemento estrutural resistente (em conjunto com outros materiais estruturais);
- Diversas aplicações e finalidades;
- Facilidade de mecanização /instalação;
- Facilidade de manuseamento;
- Não liberta nem contém elementos tóxicos;



Figura 57 - Diferentes tipos de aglomerado de partículas de madeira ligadas com cimento



Figura 58 - Uso do CBPB em revestimentos

- Diversidade de painéis com resistência ao fogo, variações térmicas, fungos e impacto;
- Retardante ao fogo - impede a propagação do fogo;
- Bom isolante acústico - pode ser um material com peso alto, possui boas propriedades acústicas. O índice de isolamento varia de acordo com a espessura da placa;
- Bom isolante térmico;
- Resistente à humidade;
- Grande durabilidade (Multiplacas, 2024; Martins, 2021; Silva, 2014);

Potencialidades da utilização na reutilização de edifícios:

Este derivado de madeira, CBPB, destaca-se pela sua elevada resistência à flexão, conferindo-lhe a aptidão para ser integrado como elemento complementar em estruturas de suporte, em sinergia com outros materiais estruturais. Esta robustez é importante em intervenções que visam reforçar ou estabilizar o edificado pré-existente, permitindo a otimização das soluções construtivas. A sua resistência estende-se ao impacto, ao frio e a microorganismos, o que é particularmente vantajoso em edifícios antigos, frequentemente mais vulneráveis a estes agentes de degradação. Apesar de se poder classificar como um material de peso considerável, esta característica intrínseca à sua composição revela-se vantajosa para as suas notáveis propriedades acústicas, cujo índice de isolamento sonoro é diretamente proporcional à espessura da placa, otimizando a atenuação da transmissão sonora. Este atributo é de grande relevância na reutilização de edifícios para novos usos, onde o conforto acústico é um requisito fundamental, garantindo ambientes interiores mais aprazíveis e funcionais. Paralelamente, demonstra bom isolamento térmico, contribuindo para o conforto dos utilizadores e para a eficiência energética dos espaços construídos.

Adicionalmente, o CBPB possui a capacidade de retardar a propagação do fogo, um atributo fundamental para a segurança passiva das edificações. A sua formulação assegura que não liberta nem contém substâncias tóxicas, alinhando-se com as crescentes exigências de salubridade e sustentabilidade na reabilitação/reutilização de edifícios existentes, promovendo ambientes interiores mais saudáveis e contribuindo para a redução do impacto da intervenção .

Na figura 61, é apresentado um projeto de reabilitação/reutilização de um centro de atividades, o CIM (Mouraria Creative Hub) localizado na rua dos Lagares, num antigo complexo de edifícios, construído no século XV, ainda antes do terremoto de 1755, situado na Mouraria, um bairro histórico de Lisboa.



Figura 59 - Uso do CBPB no mobiliário



Figura 60 - Uso de painéis de CBPB em revestimentos e portas de carpintaria

Este complexo de edifícios encontrava-se num estado avançado de degradação, onde sobreviveram unicamente as paredes de alvenaria originais. Nesta reutilização, foram preservados alguns dos elementos mais relevantes do edifício, como as escadas e as estruturas de madeira.

O projeto de reutilização do edifício começou pelo reforço das paredes existentes, para poder suportar os novos pavimentos de madeira e o novo telhado. Para acentuar a distinção entre o existente e a construção nova, foram utilizados materiais mais contemporâneos, que exploram o potencial da luz natural do uso de estruturas leves. As paredes de gesso, os elementos estruturais em metal e alguns componentes em madeira, foram pintados de branco. Em contraste, foram empregues caixilharias de alumínio e persianas de ferro de cor preta. Além disso, foram utilizados painéis Viroc (CBPB), nome como é conhecido em Portugal, em conformidade com o conceito para este projeto.

Os painéis Viroc foram aplicados como revestimento, tanto no interior como no exterior, demonstrando a sua versatilidade. Os mesmos caracterizam-se pela resistência à humidade, ao fogo, às variações térmicas, aos fungos e aos impactos (Figura 61.a.), para além de possuírem um bom isolamento acústico, aspeto importante num centro artístico. Para além do revestimento, o Viroc é igualmente utilizado em portas de carpintaria e mobiliário (Figura 61.b.). A reutilização do edifício procurou manter e preservar a morfologia original e tipologia originais da construção, tratando-se de um equipamento estratégico no processo de revitalização urbana desta zona da cidade, funcionando como incubadora para as indústrias criativas e culturais.

2.2.3. Produtos com aplicações Mistas

2.2.3.1. Aglomerados de partículas de madeira longas e orientadas – Oriented Strand Board (OSB)

O OSB (Oriented Strand Board) é constituído por lascas de madeira de grandes dimensões, geralmente retangulares, com dimensões entre 50 e 70 mm de comprimento, 20 mm de largura e uma espessura de 0,5 mm. Os painéis OSB são, geralmente, compostos por três camadas: as camadas externas com lascas dispostas paralelamente ao comprimento, e a camada intermediária com lascas colocadas aleatoriamente. São produzidos a partir de resinas sintéticas e submetidos a altas temperaturas. Este processo confere ao material elasticidade, resistência à flexão, estabilidade, além de ser económico e fácil de usar (Cachim, 2014).



a. Uso do CBPB com revestimento no exterior



b. Uso do CBPB em portas de carpintaria



c. Uso do CBPB no revestimento de paredes

Figura 61 - CIM - Mouraria *Creative Hub* - Escritório DNSJ.arq

O processo de fabrico do OSB é semelhante ao do aglomerado de partículas, sendo a única diferença o tamanho das partículas utilizadas (Figura 62). O aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas apresenta quatro classes, (OSB 1 ao OSB 4), cuja a seleção é determinada de acordo com o ambiente e com a sua aplicação específica (Cachim, 2014).

Este produto distingue-se pela sua ampla versatilidade, o que permite a sua aplicação em diversas finalidades. No domínio estrutural, é utilizado em suportes de telhado, almas de vigotas dupla-T, vigas, pavimentos, pisos e outras estruturas de suporte de carga. Para além destes usos, o material é adequado para fins decorativos, tanto como revestimento de fachadas, como para o fabrico de cofragens, trabalhos de carpintaria e para a produção de embalagens (Figura 63).

Este material apresenta uma elevada resistência à humidade, permitindo-lhe suportar vários tipos de acabamentos. A sua resiliência a ambientes húmidos torna-o particularmente adequado para pavimentos domésticos e industriais, inclusivamente em zonas de elevada exposição à humidade. Adicionalmente, demonstra uma grande capacidade para receber vernizes ou texturas aplicadas na sua superfície (Silva, 2014).

Principais características:

- Resistência mecânica elevada, comparável aos valores do contraplacado e de outros painéis estruturais de classe equivalente;
- Grande rigidez e resistência à deformação, à rutura e à delaminação;
- Excelente relação entre resistência e peso;
- Isento de defeitos estruturais, sem nós, poros ou descontinuidades;
- Desempenho preciso e bem definido: painéis para fins estruturais com características físicas e mecânicas perfeitamente definidas, em conformidade absoluta com os requisitos de concepção e regras de construção, em ambiente seco ou húmido;
- Manuseamento simples: pode ser facilmente serrado, furado, aplainado, fresado ou lixado; pode ser pregado, cravado ou aparafusado junto ao bordo sem rachar; é também facilmente colado, pintado ou tinturado;
- Suporta praticamente todos os tipos de acabamentos, incluindo betumes, tijoleira e telhas;



Figura 62 - Placa de OSB



Figura 63 - Vários tipos de aplicação do OSB

- Disponível em várias classes de resistência mecânica e numa vasta gama de dimensões, com superfície lixada ou não lixada, e acabamento com cantos retos ou com sistema macho-fêmea;
- Os diferentes formatos asseguram uma grande versatilidade na construção de pavimentos e paredes;
- Variedade decorativa, pelo acabamento original e facilidade de envernizamento;
- Boa capacidade de isolamento termo-acústico;
- Grande durabilidade: trata-se de um painel dimensionalmente estável, que mantém intactos os seus níveis de desempenho ao longo do seu ciclo de vida (desde que utilizado de acordo com as respetivas recomendações de uso);
- Impacto ambiental reduzido: não são utilizadas árvores adultas no fabrico do OSB. A sua matéria-prima é constituída unicamente por madeira de pequena dimensão, proveniente de florestas geridas de forma sustentável. Além disso, o OSB é totalmente reciclável (Jular, 2024; Silva, 2014);

Potencialidades da utilização na reutilização de edifícios:

Enquanto derivado da madeira, o OSB oferece diversas classes de resistência mecânica. Esta diferenciação permite uma seleção precisa do material em função dos requisitos estruturais do projeto. Esta particularidade é de grande relevância na reabilitação/reutilização, onde as exigências estruturais podem variar consideravelmente consoante a pré-existência, garantindo a adequação do material sem redundâncias ou deficiências.

O material apresenta-se em diferentes formatos, garantindo uma grande versatilidade na construção de pavimentos e paredes. Está disponível com superfície lixada ou não lixada e com acabamento de cantos retos ou sistema macho-fêmea. Esta adaptabilidade e padronização dos formatos facilita significativamente a sua aplicação em diversas configurações arquitectónicas, otimizando os processos construtivos e minimizando a necessidade de ajustes em obra. Tal flexibilidade é crucial na integração em geometrias preexistentes, muitas vezes irregulares, ou na redefinição de novos *layouts* funcionais.

Além disso, possui uma notável variedade decorativa, evidenciada tanto pelo seu acabamento original como pela facilidade de aplicação de verniz. O OSB suporta, praticamente, todos os tipos de acabamentos, o que permite que o material se integre harmoniosamente em diferentes estéticas de projeto. Inclusivamente, pode ser explorado pela sua materialidade e textura como acabamento final em interiores, conferindo um aspeto visual atrativo e contribuindo para a contenção de custos, ao dispensar revestimentos adicionais. Por fim, a sua produção dispensa o uso de árvores adultas, uma vez que a matéria-prima é constituída unicamente por madeira de pequena dimensão, reforçando o seu reduzido impacto ambiental e contribuindo para a redução da pegada de carbono nas intervenções de reutilização de edifícios.

Madeira como material de construção



Figura 64 - Uso do OSB na criação de vários tipos de mobiliário



Figura 65 - Possibilidade de pintar os painéis de OSB

A figura 66 ilustra o projeto de construção dos novos escritórios da Revigrés, uma empresa produtora de cerâmicos, localizada em Águeda, Portugal. Esta nova estrutura foi realizada no interior de um edifício existente, especificamente na própria fábrica da Revigrés, localizada na extremidade sul da Unidade 2.

O edifício foi concebido com base em princípios bem claros, que englobam a proximidade à nova área de produção, a identidade, a harmonia, a funcionalidade e a sustentabilidade. A sua composição volumétrica incluiu cinco volumes, dos quais quatro foram posicionados paralelamente e um quinto serviu de ligação entre eles (Figura 66.a.).

Este novo edifício, com dois pisos, apresenta uma estrutura integralmente em madeira, com tetos, paredes e pavimentos revestidos em OSB, enfatizando a sua versatilidade. Além disso, o pavimento era revestido por azulejos cerâmicos de cor preta, produzido pela própria empresa, demonstrando a polivalência do OSB para receber praticamente qualquer tipo de acabamento (Figura 66.b.). Em simultâneo, as paredes garantem um melhor isolamento térmico e acústico com a utilização do aglomerado de cortiça expandida, como complemento da boa capacidade de isolamento termo-acústico do OSB.

No que concerne às instalações sanitárias, observa-se que tanto as paredes quanto os pavimentos se encontram revestidos por azulejos cerâmicos. O mobiliário, em consonância com a materialidade predominante no interior da estrutura, foi também produzido com um derivado da madeira, especificamente MDF (Figura 66.c.).

No que diz respeito aos acabamentos, o OSB é mantido exposto, tanto no exterior como no interior, evidenciando a sua estética e a variedade decorativa do seu acabamento original. As fachadas, por sua vez, incorporam grandes vãos envidraçados, os quais facilitam o acesso aos volumes e proporcionam uma boa visibilidade para as zonas de produção. A simplicidade desta combinação de materiais, nomeadamente a madeira e vidro reflete a afinidade da empresa à matéria-prima.

O objetivo subjacente a este projeto consistiu em acomodar os seus trabalhadores e bens em harmonia com o meio ambiente, satisfazendo simultaneamente os requisitos de produtividade. Através do uso destes materiais nos acabamentos volumétricos, visou-se igualmente conferir conforto aos utilizadores.

Por fim, este edifício oferece no futuro a possibilidade destes volumes poderem ser desmontados, transformados e montados noutra local, consequência da sua reversibilidade, leveza e fácil manuseamento.



a. Vista exterior do uso do OSB nos vários elementos que fazem parte do edifício



b. Uso do OSB como revestimento de paredes e portas



c. Utilização de OSB no mobiliário e na laje de piso

Figura 66 - *Revigrés Offices* - Arquiteto Carlos Castanheira

2.2.3.2. Contraplacado - Plywood

O contraplacado é formado por camadas de folhas de madeira, com espessura que variam entre dois e três milímetros, que são coladas perpendicularmente sobre alta pressão. A disposição destas folhas em camadas cruzadas confere ao material uma maior resistência e estabilidade dimensional, características diretamente influenciadas pela sua orientação. Os painéis, com espessuras que geralmente se situam entre quatro e cinquenta milímetros, têm a sua qualidade intrinsecamente ligada ao tipo de cola utilizada e ao número de folhas de madeira empregues, as quais podem pertencer à mesma ou a categorias diferentes (Figura 67 e 68).

Para garantir a simetria do painel, procede-se à colagem de um número ímpar de folhas, sendo os contraplacados mais comuns os constituídos por três, cinco, sete ou nove camadas (Silva et al ., 2013).

O processo de produção do contraplacado começa pela obtenção das folhas, provenientes do desenrolamento dos troncos. Em seguida, essas folhas passam pelo processo de secagem e são classificadas, sendo descartadas as que apresentam defeitos. Após a secagem, as folhas são dispostas em camadas: as completas são utilizadas nas camadas exteriores, enquanto que as unidas são utilizadas nas camadas interiores, ocultando assim as juntas.

As folhas são colocadas ortogonalmente umas às outras, e o teor de humidade é monitorizado, tendo que estar entre oito e dez por cento no final do processo. A estrutura cruzada do contraplacado confere maior estabilidade dimensional, resultando numa anisotropia menor do que a da madeira maciça. Além disso, o cruzamento das camadas permite o uso de pregos ou parafusos nos cantos sem danificar os tampos. Este material é amplamente utilizado em almas ou diafragmas de vigas, sendo essencial considerar os fatores ambientais que podem afetar o produto.

Existem diferentes tipos de contraplacados adaptados a diversas condições de humidade. O contraplacado marítimo, por exemplo, é especialmente desenvolvido para a construção naval, possuindo características que o tornam adequado para ambientes de alta humidade. Este tipo de derivado de madeira distingue-se pelas reduzidas deficiências mecânicas, menor retração e anisotropia, bem como pela menor absorção de humidade, características atribuíveis às técnicas e colas utilizadas na sua produção. A sua aplicação pode ser usada em funções estruturais ou decorativas, tanto no interior como no exterior, consoante o tipo de cola usada na sua produção (Cachim, 2014).



Figura 67 - Painéis de contraplacado



Figura 68 - Mobiliário em contraplacado

A aplicação deste material estende-se a soalhos, revestimentos, à produção de vigas, portas, à proteção contra fogo de estruturas metálicas, a mobiliário e a divisões interiores. Em suma, o contraplacado destaca-se por oferecer qualidades superiores às dos painéis de aglomerados, sendo, portanto, um material desenvolvido para uso em contextos mais exigentes.

Principais características:

- Reduzidas deficiências mecânicas (Silva, 2014);
- O cruzamento das folhas em ângulos de 90° reduz variações dimensionais, deficiências mecânicas e proporciona maior resistência à flexão, ao impacto e ao aparecimento de fissuras (Silva et al., 2013);
- Elevada resistência à degradação, ao desgaste, ao choque/impacto, ao fogo, à humidade e à flexão (Silva, 2014);
- Facilidade de manuseamento (Silva, 2014);
- Viabilidade na criação de novos materiais por combinação dos folheados e das madeiras maciças (painéis de lâminas, painéis de aglomerados, entre outros), bem como na incorporação de melhorias na madeira sob vários pontos de vista, nomeadamente na ignifugação, preservação e endurecimento por impregnação (Silva, 2014);
- Permite a aplicação de técnicas de moldagem de forma, originando superfícies curvas (Silva, 2014);
- A diminuição da absorção de humidade é conseguida através de planos de ligação, que impedem a entrada de água na madeira (Silva et al., 2013);
- Melhora a madeira em vários aspetos, aumentando o tempo de carbonização, preservando melhor o material e aumentando a resistência à degradação (Silva et al., 2013);
- A existência de painéis de grandes dimensões reduz o custo de fabrico e as despesas associadas à sua utilização (Silva et al., 2013);
- Admite um menor preço para o artigo final através da integração de produtos menos valiosos no interior do painel, sem que haja diminuição das propriedades mecânicas (Silva, 2014);
- Grande durabilidade (Silva, 2014);

Potencialidades da utilização na reutilização de edifícios:

O contraplacado destaca-se pela criação de novos compósitos através da combinação de folheados com madeiras maciças ou com outros materiais, como painéis de lâminas ou aglomerados. Esta capacidade é crucial em projetos contemporâneos que procuram soluções híbridas e otimizadas, permitindo uma adaptação versátil às complexidades das estruturas preexistentes. Adicionalmente, a sua composição viabiliza a incorporação de melhorias significativas na madeira, tais como tratamentos de ignifugação, preservação e endurecimento por impregnação. A ignifugação, por exemplo, eleva a resistência do material ao fogo, retardando a sua propagação e protegendo a estrutura em caso de incêndio. Este derivado de madeira permite, ainda, otimizar os custos finais do produto, ao possibilitar a integração de materiais de menor valor, como camadas de madeira menos nobres, no interior do painel, sem comprometer as propriedades mecânicas. Tal estratégia contribui para a eficiência económica das intervenções de reutilização, conferindo-lhes maior competitividade, ao maximizar o aproveitamento de recurso e reduzir o desperdício de madeira. A preservação confere maior durabilidade ao material, salvaguardando-o contra o ataque de agentes biológicos, como fungos e insetos, que são causas comuns de degradação em estruturas de madeira, especialmente nas preexistências. Por sua vez, o endurecimento por impregnação melhora as suas propriedades mecânicas, tornando-o mais robusto e resistente ao desgaste, o que é fundamental para a longevidade e o desempenho estrutural de elementos inseridos ou reforçados em edifícios existentes. Estas melhorias ampliam o campo de aplicação do contraplacado, tornando-o apto para ambientes mais exigentes ou para a reabilitação/reutilização de elementos históricos.

O processo de fabrico do contraplacado, que envolve o cruzamento perpendicular das suas folhas, é fundamental para o seu desempenho estrutural e funcional. Esta técnica singular mitiga as deficiências mecânicas e a anisotropia inerentes à madeira maciça, conferindo ao material maior estabilidade dimensional e menor higroscópio. Consequentemente, o contraplacado minimiza deformações e fissuras provocadas por variações de humidade, exibindo elevada resistência à flexão, ao impacto e à fissuração. Esta robustez é crucial em elementos estruturais sujeitos a cargas dinâmicas ou impactos, e a sua resistência à fissuração permite que seja pregado ou aparafusado perto das bordas sem risco de fendilhamento do material, facilitando intervenções e reforços em estruturas preexistentes.

Na figura 69, é apresentado um projeto de reutilização/reconversão da Ala Oeste do antigo Colégio das Artes (CAV – Centro de Artes Visuais), localizado no Pátio da Inquisição, junto à Rua da Sofia, em Coimbra. A intervenção visou a transformação da ala Oeste num Centro de artes Visuais, adaptando o edifício preexistente a novos usos, sem comprometer o seu valor histórico e arqueológico. Neste contexto, o arquiteto implementou o conceito de “caixa dentro de caixa”, uma abordagem frequentemente utilizada no mundo do teatro. Este conceito permitiu configurar o espaço interno do Centro de Artes Visuais de forma semelhante a um cenário teatral (Figura 69.a.).

Os elementos inseridos foram estrategicamente posicionados para integrar a nova história da preexistência do edifício, estabelecendo, por conseguinte, uma clara continuidade entre o novo e o antigo, o passado e o presente, através de uma linguagem contemporânea.

O contraplacado, pode ser utilizado em funções tanto estruturais quanto decorativas, denotando a sua inerente versatilidade. A sua boa plasticidade, que permite a moldagem em superfícies curvas, e a sua facilidade de manuseamento, incluindo a possibilidade de ser pregado ou aparafusado junto às bordas sem risco de danificar, reforçam a sua adaptabilidade a diversas exigências projetuais. No piso térreo, o espaço destinado a exposições foi concebido para ser altamente flexível e reconfigurável. Para o efeito, foram utilizados painéis móveis de madeira contraplacada, que possibilitam a reconfiguração espacial, permitindo a criação de longos corredores ou salas de menor dimensão, em resposta às diversas necessidades expositivas. A leveza e a facilidade de manuseamento do contraplacado revelam-se cruciais para esta adaptabilidade.

No piso superior, destaca-se o conceito da “caixa”, um volume revestido em madeira contraplacada que contrasta com as paredes brancas ao redor. Nela estão inseridos objetos autónomos e os espaços funcionais do programa do Centro de Artes Visuais. Este elemento retangular revestido de madeira, contém as salas de montagem de fotografia, laboratórios, arquivos, instalações sanitárias, espaços que eram necessários para a nova função do edifício e que precisavam de ser fechados. A materialidade do contraplacado foi intencionalmente escolhida para acentuar o contraste com as paredes brancas, destacando a intervenção contemporânea dentro do contexto histórico.

A compartimentação dos restantes ambientes é efetuada por divisórias em madeira contraplacada, as quais servem simultaneamente como estantes e bancos, otimizando o espaço e a funcionalidade (Figura 69.b.). Entre estas, integram-se os espaços destinados a um auditório, biblioteca, secretaria e área administrativa. Elementos de mobiliário e portas interiores foram igualmente fabricados neste material (Figura 69.c.). O arquiteto decidiu ainda manter a estrutura de madeira da cobertura visível assumindo-se como um elemento compositivo importante para o espaço do piso superior, promovendo um diálogo entre o novo e o preexistente. Por ser um material leve e modular permite soluções reversíveis e a inserção de adições contemporâneas menos invasivas no contexto do edificado, preservando os valores patrimoniais e a integridade original do edifício. Especificamente, os elementos de contraplacado promovem uma elevada flexibilidade na configuração dos espaços expositivos, permitindo a sua adaptação a diferentes cenários e ao novo uso do edifício. A inserção de volumes e elementos em contraplacado dentro do edifício, sem alterar a sua estrutura original, reflete a prioridade de preservar a memória e a identidade do monumento. A natureza modular e a facilidade de montagem e desmontagem do contraplacado, sugerem uma abordagem reversível. Tal permite que, em caso de futuras necessidades, os elementos inseridos possam ser removidos sem comprometer a preexistência. O contraplacado, com a sua textura, contribui ainda para criar uma atmosfera mais acolhedora no espaço.



a. Volume em contraplacado dentro do edifício existente



b. Uso do contraplacado em mobiliário



c. Uso do contraplacado na criação de portas interiores

Figura 69 - Reconversão da Ala Oeste do Antigo Colégio das Artes - CAV - Arquiteto João Mendes Ribeiro

III. Vantagens e desvantagens do uso da madeira e derivados na reutilização de edifícios

3.1. Contexto atual do parque habitacional português

Conforme discutido anteriormente, Portugal confronta-se com um parque habitacional num avançado estado de envelhecimento, dado que aproximadamente 70% do edificado foi construído antes de 1985, atingindo, atualmente, cerca de 40 anos de existência. Estima-se que, num futuro próximo, uma parte significativa destes edifícios necessitará de reparações substanciais, e alguns poderão ser abandonados. Observa-se, no entanto, uma persistente preferência pela construção nova, deixando inúmeros edifícios devolutos, principalmente aqueles que permanecem à venda sem utilização por longos períodos. Esta tendência é impulsionada principalmente pelos custos elevados das intervenções e contribui para o aumento do número de edifícios abandonados (Moreira, 2019).

Adicionalmente, a reabilitação de edifícios, apesar de ser um processo essencial para a preservação do património construído, muitas vezes depara-se com custos bastante onerosos, dependendo da escala da intervenção. Muitos destes edifícios, encontram-se em zonas densamente urbanizadas das cidades, o que implica grandes desafios e constrangimentos para a gestão e execução da obra. Tais obstáculos frequentemente desencorajam potenciais investidores (Silva, 2014).

Atualmente, a reutilização de edifícios ultrapassa a mera necessidade de reparar danos ou garantir condições de habitabilidade. Esta prática é, muitas vezes, motivada pela obsolescência das características dos edifícios antigos, que não satisfazem as exigências do mercado atual nem as necessidades atuais do ser humano, designadamente ao nível do conforto térmico, acústico e funcional (Mezeiro, 2018).

3.2. Reutilização de edifícios com uso de produtos derivados da madeira

Reutilização de edifícios como estratégia

As soluções à base de madeira e derivados anteriormente discutidas, demonstram capacidade para mitigar o envelhecimento do parque habitacional português, promovendo o reaproveitamento do edificado devoluto com novos usos. Este processo pode contribuir significativamente para a resolução dos problemas de habitação e da falta de serviços para servir a população. A adaptação funcional das estruturas existentes, conforme sublinhado por Moreira (2019), revela-se imperativa para a conformidade com os requisitos e padrões técnicos atuais, conferindo ao edifício reabilitado a devida atratividade e segurança para a sua utilização. Além disso, esta abordagem de reutilização contribui para a salvaguarda do património edificado e para a preservação de construções de indiscutível valor histórico e simbólico (Moreira, 2019).

A reutilização de edifícios com o uso da madeira e dos seus derivados, configura-se como uma solução viável para mitigar os desafios financeiros e logísticos da reabilitação. Esta abordagem contribui para a diminuição dos custos globais da obra, do tempo de execução e da quantidade de resíduos produzidos, comparativamente à construção tradicional. Igualmente relevante é o crescente incremento de incentivos e apoios direcionados à sustentabilidade e eficiência energética dos edifícios, particularmente ao edificado mais antigo (Silva, 2014).

As soluções apresentadas permitem que o edifício possa continuar a ser utilizado durante a própria intervenção, o que possibilita a distribuição dos custos ao longo do tempo, tornando mais suportável o peso económico da operação. Uma vantagem particularmente relevante na reutilização de edifícios com soluções à base de madeiras e derivados, é a reversibilidade das mesmas. Esta característica, por sua vez, possibilita um leque alargado de aplicações, nomeadamente a utilização imediata do espaço em situações de urgência nas quais uma preservação extensiva se revele inviável. Sendo menos invasivas e intrusivas, estas soluções não comprometem a possibilidade de efetuar uma reabilitação mais profunda do edifício, restituindo-o à sua originalidade.

Madeira e os seus derivados como solução

Historicamente, o mercado português da construção tem-se concentrado mais em soluções tradicionais que utilizam alvenaria e betão. A mudança para o uso da madeira como parte estrutural tem sido gradual devido à falta de sensibilidade para o uso deste material, e a determinadas características que, comparativamente a outras soluções, podem ser vistas como desvantagens, nomeadamente:

- é um material anisotrópico e heterogéneo;
- apresenta uma maior sensibilidade ao ambiente, e possíveis alterações dimensionais, transversais e longitudinais, consoante as variações de humidade;
- torna-se bastante vulnerável aos agentes externos, ficando com uma durabilidade limitada, quando não são tomadas medidas preventivas;
- mostra baixa resistência a pragas;
- é um material combustível;
- apresenta dimensões limitadas, formas alongadas, de secção transversal reduzida;
- requer mão-de-obra qualificada;
- implica manutenção periódica.

Estas desvantagens condicionaram o desempenho e a durabilidade da madeira, levando a que, a determinada altura, fosse ultrapassada pelo aço e pelo betão armado (Silva, 2014).

Contudo, graças ao desenvolvimento tecnológico da indústria da madeira, as vulnerabilidades deste material foram mitigadas, o seu desempenho foi melhorado e foram criados produtos derivados com propriedades superiores.

O uso de juntas dentadas e outras técnicas de laminação possibilitaram a criação de elementos com grandes dimensões, com maior qualidade e de fácil montagem, sendo o seu transporte a única limitação. A evolução destes derivados e compósitos, permitiu ultrapassar as limitações da madeira maciça, como as dimensões transversais reduzidas e os defeitos naturais (Silva, 2014).

Atualmente, os produtos à base de madeira oferecem uma diversidade de soluções para quase todos os desafios encontrados na reutilização de edifícios existentes. Além de evitarem gastos com demolições e reconstruções, tornam-se uma solução mais económica, que permite responder às necessidades atuais.

Em comparação com a construção nova de edifícios em betão, que envolve a dupla construção, primeiro a cofragem, normalmente em madeira, e só depois a betonagem, a que se segue o período de cura do betão, a construção em madeira revela-se significativamente mais rápida.

As obras de reabilitação apresentam durações médias de 7-18 meses para ampliação, 6-19 meses para alteração e até 22 meses para reconstrução (INE, 2024). Dependendo da profundidade da intervenção, estes tempos podem ser drasticamente reduzidos com recurso a soluções em madeira e derivados. A rapidez de conceção e execução é, de facto, uma das suas principais vantagens, um requisito cada vez mais exigido no setor da construção. Esta rapidez de execução e facilidade de instalação, também contribui para minimizar os custos e logística do estaleiro.

Deste modo, a madeira e os seus derivados destacam-se como uma alternativa relevante na construção, sendo um material natural, estruturalmente durável e de elevada atractividade estética. A sua versatilidade, que permite uma aplicação rápida e fácil em edifícios existentes, aliados à sua simples modelação, grande liberdade de desenho, e a sua independência face ao esquema estrutural e espacial pré-existente, contribui significativamente para o crescente uso destes produtos (Mezeiro, 2018). Este potencial de utilização resulta de várias características e propriedades:

Soluções estruturais e mecânicas:

- Capacidade de resistir tanto a esforços de compressão como de tração e flexão (Silva, 2014);
- Elevada rigidez e resistência mecânica, grande capacidade de carga e uma relação peso/resistência superior quando comparada com outros materiais;
- Apresentam até 10 vezes mais resistência à flexão do que o betão, equiparando-se na resistência ao corte e na resistência à compressão, beneficiando de uma baixa massa volúmica aliada a uma elevada resistência mecânica;
- Notável estabilidade dimensional, que impede o rompimento, fendilhamento, empenamento, torção, deformação, ruptura e delaminação, mesmo perante choques bruscos, devido aos seus processos de fabricação;
- A sua leveza permite a criação de elementos de pequenas e grandes dimensões, oferecendo excelente relação entre resistência e peso;

Durabilidade e resiliência a agressões externas:

- Resistem por longos períodos de tempo a altas temperaturas sem perda das suas características mecânicas, ao contrário do betão, aço e alumínio que, nas mesmas condições, colapsam. Esta propriedade resulta de características intrínsecas e de tratamentos adequados que retardam a sua combustão;
- Elevada durabilidade e resistência a agentes externos, admitindo a aplicação de tratamentos de preservação para aplicações no exterior, que protegem contra a decomposição por fungos e insetos, o desgaste, a degradação, além de adesivos resistentes à água e à humidade;

Qualidade consistente e propriedades funcionais melhoradas:

- Qualidade consistente e uniformidade, sendo derivados da madeira, mas sem os defeitos naturais da matéria-prima;
- Boas capacidades de isolamento térmico e de absorção acústica, os produtos derivados da madeira distinguem-se de outros materiais, sendo 15 vezes mais eficientes do que o betão, 400 vezes mais do que o aço e 1770 vezes mais do que o alumínio, em termos de ambas as propriedades;

Versatilidade e eficiência construtiva:

- Grande adaptabilidade e personalização, com uma elevada flexibilidade de desenho e formas, o permitindo uma grande liberdade criativa nos projetos;

- Simplicidade no manuseamento, rapidez de instalação e facilidade de realizar a sua manutenção, podendo ser trabalhados com ferramentas simples, o que viabiliza soluções mais económicas e eficientes;
- Permitem a execução de emendas e ligações fáceis de executar através de placas dentadas, cavilhas, anéis, parafusos e pregos (ligadores metálicos);
- Possibilidade de produzir elementos estruturais de grandes dimensões com deflexão mínima, que podem, se necessário, ser rapidamente divididos em peças mais pequenas;
- Diversidade de acabamento e com diversas aplicações (pavimentos, painéis, elementos prontos a instalar em obra, mobiliário, portas, revestimentos e decorações);

Sustentabilidade ambiental e eficiência energética:

- Existe um equilíbrio ecológico intrínseco à madeira, uma vez que as reservas renovam-se por si através de processos de desflorestação sustentável, assegurando a sua disponibilidade permanentemente;
- Tem a capacidade de sequestrar e armazenar temporariamente o CO₂ durante o seu ciclo de crescimento nas florestas e mesmo até durante o seu uso na construção;
- A produção de madeira consome menos energia em comparação com outros materiais de construção: 1Kg de madeira requer apenas 1KJ, enquanto 1Kg de aço necessita de 4 KJ e 1 Kg de alumínio exige 142 KJ;
- São materiais reutilizados, renováveis, recicláveis e biodegradáveis (Silva, 2014);

Por não serem produtos intrusivos e apresentarem características melhoradas que conferem longevidade com a manutenção adequada, estes materiais podem ser facilmente integrados em locais históricos sem comprometer a sua identidade, valores culturais e tradicionais.

Assim, os derivados de madeira mostram-se como uma solução viável para a preservação do património. Adicionalmente, a diversidade de tratamentos e acabamentos disponíveis confere a versatilidade de reproduzir a aparência e as características dos materiais originais utilizados na construção, nomeadamente na reabilitação dos elementos de madeira.

Sustentabilidade da madeira

Segundo um relatório efetuado pelas Nações Unidas, um dos maiores contribuintes para o aumento das emissões de gases com efeito de estufa são os edifícios, calculando-se que durante a sua construção, operação, manutenção e demolição, sejam libertados 40% das emissões totais. O uso da madeira e os seus derivados mitiga esta libertação de emissões, durante todo o ciclo de vida, desde o seu corte nas florestas. Isto deve-se ao facto de:

- haver uma maior retenção de carbono de longa duração;
- o uso da madeira ou dos seus derivados substituírem materiais mais emissores de carbono e que consomem mais energia (betão, alvenaria, aço e alumínio);
- a madeira possui um coeficiente de condutibilidade térmica reduzido, com potencial para edifícios energeticamente eficientes;
- a construção em madeira estimula um maior cultivo de árvores e, conseqüentemente, o aumento da área florestal e a sua manutenção (Jorge, 2013);

As novas orientações mundiais para a sustentabilidade alertam cada vez mais para a necessidade de reutilizar, sendo que o aproveitamento de edifícios existentes tem um grande potencial para o futuro em vários sectores.

Ao comparar o uso de estruturas de dimensões equivalentes, constata-se que, enquanto as construções em *steelframe* (aço) resultam num acréscimo de 4,5 toneladas de CO₂ na atmosfera, as estruturas em *woodframe* (madeira) absorvem 9,5 toneladas de CO₂.

O uso da madeira num edifício de tamanho médio pode retirar cerca 20 toneladas de CO₂ da atmosfera, o que equivale às emissões de um carro a gasolina durante aproximadamente 7,1 anos. Por outro lado, a utilização de outros materiais como betão, aço, alumínio e tijolo podem adicionar 24 toneladas de CO₂ à atmosfera, o equivalente às emissões do mesmo carro durante 8,6 anos (Aflalo, 2020).

Atualmente, com a crescente preocupação ambiental, o uso destes materiais na reutilização e até na construção nova, contribui significativamente para a redução das emissões de CO₂ para a atmosfera, e para a diminuição do impacto ambiental do setor da construção.

3.3. Desafios a considerar no uso da madeira e derivados em Portugal

Apesar das vantagens destes produtos, em Portugal, prevalece a ideia de que o betão e o tijolo são materiais mais seguros para a construção, constituindo uma mentalidade contrária à dos países nórdicos. Estes, apesar de estarem sujeitos a condições climáticas mais desfavoráveis e extremas, recorrem à madeira e aos seus derivados como principais materiais de construção, o que evidencia a sua relevância e eficácia (Jorge, 2013). O uso da madeira, embora amplamente utilizada em estruturas de edifícios, permanece culturalmente pouco expressivo devido a estigmas gerados por mitos associados à durabilidade e à resistência ao fogo. Atualmente, os produtos derivados de madeira, têm mitigado os problemas anteriormente referidos (Jorge, 2013).

Um dos desafios em Portugal reside no facto do país importar grande parte da madeira, o que implica custos elevados e agravamento do impacto ambiental, associado ao transporte. Verifica-se, adicionalmente, o abandono e a falta de manutenção das áreas florestais nacionais, susceptíveis de provocar incêndios em períodos de risco elevado.

Torna-se assim necessário estabelecer o desenvolvimento de uma fonte sustentável de matéria-prima, potenciada pela utilização de espécies autóctones na produção destes produtos. Esta abordagem, simultaneamente, contribuiria na superação das problemáticas referidas anteriormente no panorama florestal nacional. Deste modo, a produção e a utilização dos derivados de madeira potenciam a valorização deste recurso natural e renovável, assegurando, em paralelo, a sua gestão sustentável e a proteção das florestas.

A escolha certa de produtos de madeira e derivados para um projeto é essencial para garantir a sua durabilidade e bom desempenho, principalmente da estrutura, mas também dos outros elementos que empregam esta matéria-prima. As propriedades como a resistência, durabilidade, estabilidade dimensional e outras características específicas são princípios cruciais a considerar. Um uso inadequado do material pode comprometer o projeto e a obra, resultando num desempenho inferior ao esperado.

Contudo, antes de intervir em edifícios existentes, é fundamental diagnosticar as eventuais anomalias e compreender o seu comportamento estrutural.

A elaboração de modelos analíticos que simulem com precisão a estrutura em questão é essencial para prever o seu comportamento real, particularmente nas ligações entre a madeira e os outros elementos.

Esta tarefa assume maior complexidade em reabilitações e reutilizações, devido às características específicas das estruturas preexistentes. Embora apresentem maior facilidade de aplicação relativamente a outros materiais, estas soluções carecem igualmente de um projeto de acompanhamento técnico, como qualquer intervenção na construção, dado que muitos destes sistemas interferem com questões de segurança estrutural.

Além disso, a escassez de mão de obra qualificada, é também um fator que afeta não só os sistemas em madeira, mas também os tradicionais e pode influenciar o período de execução.

3.4. Cuidados a ter no uso da madeira e derivados

Tipos e importância das ligações no comportamento estrutural

Os elementos mais frágeis dos sistemas de madeira localizam-se nas ligações entre as várias partes, o que pode comprometer, ao nível dos estados limite, tanto a durabilidade quanto a resistência ao fogo, condicionando significativamente o comportamento da estrutura (Torres, 2021).

Nas últimas décadas registou-se um avanço nos tipos de ligadores, largamente impulsionado pela transição das técnicas de carpintaria de métodos manuais e demorados, para métodos mecânicos e industriais, mais rápidos e precisos. Esta evolução foi emblematicamente impulsionada pela utilização de máquinas CNC (Computer Numerical Control) na fabricação, que viabilizou também o desenvolvimento de ligadores metálicos (Barbosa, 2015).

A função primária do ligador resume-se à transferência de esforços que atuam na estrutura, sendo a dimensão do conector condicionada pelas suas limitações ao nível da deformação, forças de rotação e segurança. Trata-se de um elemento de custo elevado e fabricação demorada, tanto na produção da peça de ligação (no caso das ligações metálicas) como na talha da fêmea da ligação na peça (no caso das ligações tradicionais). A utilização de um número reduzido de conexões simples contribui para um comportamento da estrutura otimizado (Hilário, 2013).

Existem três grupos de ligadores para estruturas de madeira e derivados:

Ligadores tradicionais: utilizam incisões feitos diretamente na madeira, como a ligação por entalhe, por cruzamento e por empalmes (Figura 70);

Ligações coladas: utilizam colas específicas, como epóxi ou poliuretano, para a fixação das peças (Figura 71);

Ligações com elementos metálicos: usam peças de diferentes metais, predominantemente aço e alumínio, tais como pregos, parafusos e ligadores metálicos para a fixação dos elementos estruturais (Figura 72).

Estes ligadores diferenciam-se quanto à metodologia de aplicação *in situ*, aos materiais utilizados e pela forma de transmissão de esforços (Torres, 2021). Uma das diferenças mais relevantes entre derivados de madeira e perfis de aço em reutilização reside na exigência de uma ligação eficaz com a alvenaria existente. A grande disparidade de rigidez entre a alvenaria e o aço tende a concentrar tensões nos pontos de ligação, exigindo soluções construtivas mais complexas. Em contrapartida, as estruturas de madeira permitem ligações mais pontuais com a alvenaria, racionalizando a execução e minimizando as concentrações de tensão.

Um dos aspetos mais relevantes nas ligações de estruturas de madeira é o seu comportamento durante um sismo, dado constituírem pontos críticos de vulnerabilidade estrutural. A criação de ligações perfeitamente rígidas em estruturas de madeira revela-se particularmente complexa.

Consequentemente, as ligações são dimensionadas para permitir rotações e deslocamentos controlados entre os elementos, de modo a absorver o movimento sísmico e dissipar a energia na forma de calor através da estrutura.

O Japão constitui um ótimo exemplo na aplicação recorrente destes sistemas, devido à sua localização em áreas de alto risco sísmico (Hilário, 2013). Atualmente, os sistemas tradicionais e inovadores em madeira encontram-se amplamente utilizados no norte, registando igualmente um crescimento no sul da Europa face ao elevado risco sísmico desses países (Lourenço et al., 2013).

A escolha do tipo de ligação para uma determinada estrutura não se deve cingir ao tipo de cargas ou à capacidade resistente (Torres, 2021).

Vantagens e desvantagens do uso da madeira e derivados na reutilização de edifícios

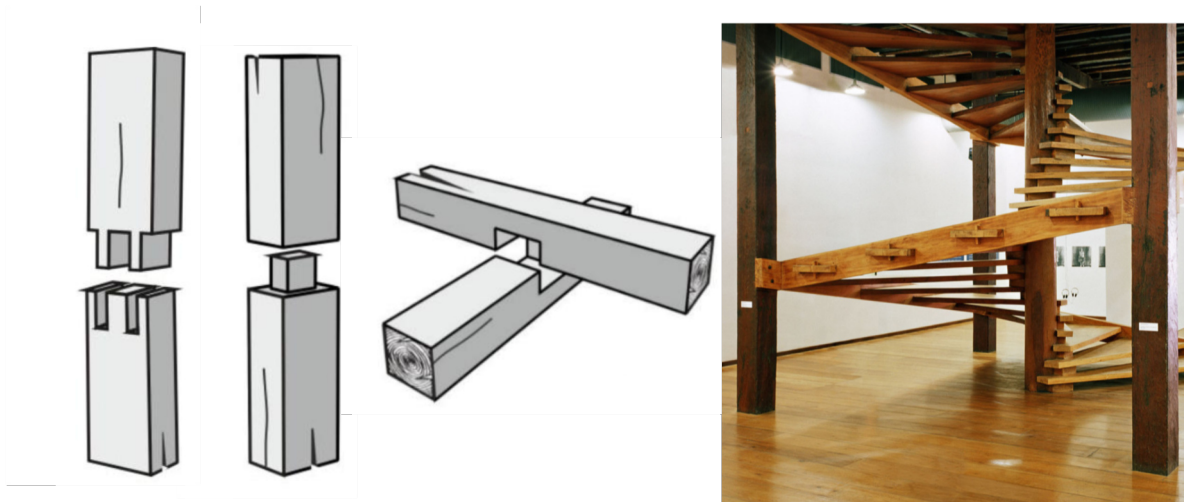


Figura 70 - Vários tipos de ligadores tradicionais

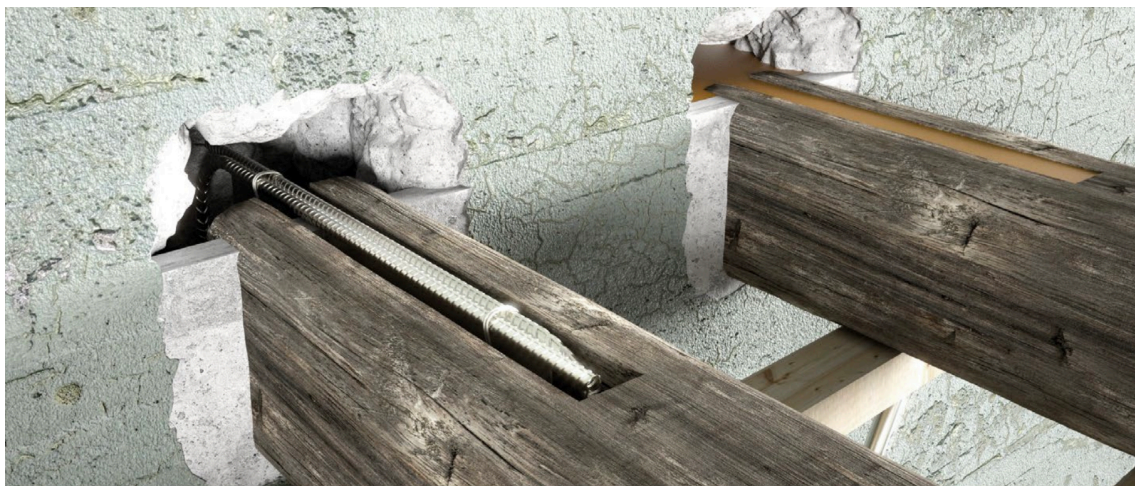


Figura 71 - Reforço estrutural de vigas com o uso de varões e colas epoxy

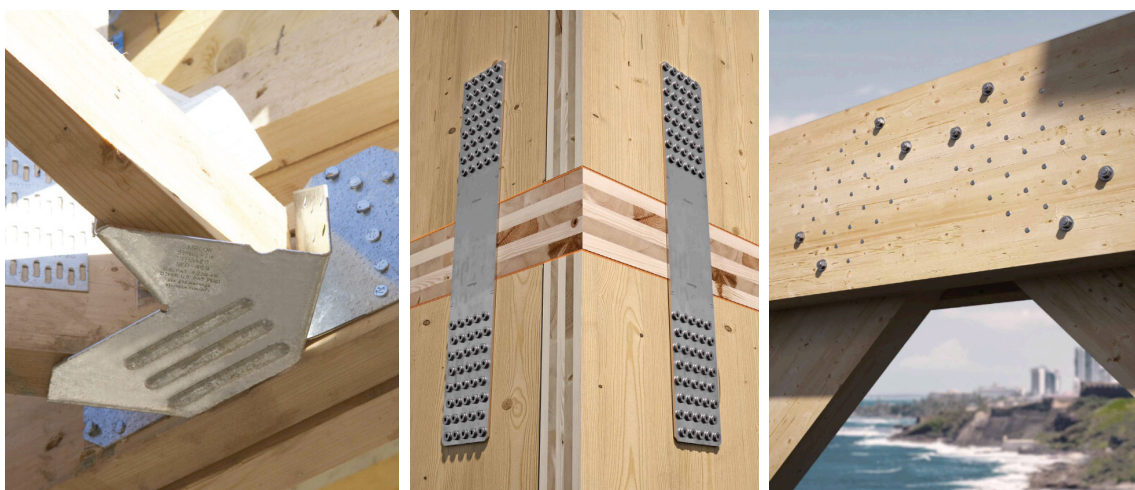


Figura 72 - Vários tipos de ligadores metálicos

Impõe-se igualmente considerar questões estéticas, processos de fabrico, eficiência da conexão e custos. Paralelamente, a ideia do projetista para a execução da ligação poderá influenciar a decisão final (Torres, 2021). Atualmente, dispõe-se de um leque quase ilimitado de soluções de ligadores, maioritariamente metálicos, para estruturas de madeira. Estas possibilitam aplicações diversificadas em múltiplos contextos e permitem, se necessário, uma incorporação discreta, protegida de agentes externos, tanto em elementos de paredes, como em coberturas, vigas de pavimentos e pilares.

Proteção e manutenção da madeira na construção

Para além dos ligadores necessários para assegurar a durabilidade dos elementos de madeira, é igualmente essencial cumprir as normas técnicas e aplicar tratamentos adequados. A seleção da madeira deve basear-se nas classes de risco a que a peça estará sujeita, assegurando assim o melhor desempenho e durabilidade da estrutura.

É fundamental que os produtos derivados de madeira atinjam um teor de humidade o mais próximo possível do ponto de equilíbrio nas condições locais antes da instalação. Adicionalmente, é crucial evitar a aplicação prematura do material em áreas com revestimentos ainda húmidos, tais como betonilhas, argamassas e rebocos, dado que a humidade residual poderá comprometer e danificar a sua integridade. O contato direto da madeira com o solo favorece a proliferação de fungos e outros organismos biológicos que aceleram o processo de degradação, sendo fundamental garantir o seu isolamento.

Sendo a maior parte do processo de fabrico desenvolvido em ambientes controlados, os derivados de madeira podem ser avaliados de forma mais rigorosa e detalhada, garantindo o cumprimento da regulamentação específica e agilizando o processo de licenciamento. A produção em fábrica protege os materiais de fatores externos que comprometeriam a sua qualidade antes dos tratamentos, ao contrário do que ocorre nas construções tradicionais.

A manutenção preventiva regular é fundamental para garantir a durabilidade e prolongar a vida útil dos produtos à base de madeira. A aplicação de vernizes, isolantes e outros tratamentos específicos, protege-os contra a exposição a intempéries (raios solares e chuva), bem como previne o aparecimento de insetos e outras pragas que podem comprometer a sua integridade estrutural.

Por ser um material combustível, a madeira exige cuidados específicos de segurança contra incêndios. Existem tratamentos especializados que ajudam a retardar a propagação das chamas, proporcionando um período de tempo de segurança mais alargado.

Muitas construções de madeira sobreviveram a incêndios e foram posteriormente reconstruídas para reutilização (Minha Cabana, 2024; Silva, 2014; Cruz & Nunes, 2024).

Assim, deve ser escolhido o tipo de derivado da madeira conforme o tipo de uso em que será aplicado: para uma aplicação estrutural, como vigas, pilares, paredes, lajes e coberturas, deverão utilizar-se produtos como o LVL, o PSL, o LSL, o MLC, as vigas I e o CLT; para aplicações não estruturais, como mobiliário, decoração, carpintaria, revestimentos interiores e paredes divisórias, podem ser utilizados produtos como o MDF, HDF, o aglomerado de partículas de madeira e CBPB ou Viroc. Se o tipo de aplicação for misto, estrutural e não estrutural, o OSB é uma excelente opção, tal como o contraplacado.

A variedade de produtos de madeira e derivados passíveis de combinação, assegura uma ampla diversidade de opções técnicas, garantindo respostas abrangentes aos desafios da reabilitação e reutilização de edifícios. Apesar da complexidade e, frequentemente, da certa imprevisibilidade inerentes a este tipo de intervenção no edificado existente, a flexibilidade das soluções à base de madeira permite afirmar, com relativa segurança, que na generalidade das situações será exequível uma opção baseada nestes tipos de sistemas. Adicionalmente, tais soluções possibilitam uma integração facilitada com outros materiais de construção. Atualmente, perante a crescente preocupação ambiental, o uso destes materiais, quer na reutilização, quer na construção nova, contribui significativamente para a redução das emissões de CO₂ para a atmosfera, e para a diminuição do impacto ambiental do setor da construção.

3.5. Perspetivas futuras da madeira na construção em Portugal

O uso da madeira e dos seus derivados na construção, quer em novos edifícios, quer em intervenções de reabilitação/reutilização, tem demonstrado um crescimento assinalável, afirmando-se como um recurso estratégico para o setor, tanto em Portugal como noutros países da União Europeia. Esta crescente procura é impulsionada pelas inúmeras vantagens da madeira e os seus derivados como materiais construtivos, posicionando-os como uma escolha promissora para um futuro mais sustentável na construção.

A reutilização de edifícios, com recurso aos derivados de madeira garante, ainda, um parque edificado mais sustentável, do ponto de vista económico, social e ambiental. A madeira, enquanto opção alternativa às soluções construtivas tradicionais, como o aço, a alvenaria e o betão, confere capacidade estrutural, liberdade arquitetónica e um desempenho ambiental superior. Este paradigma em ascensão, já evidente noutros contextos europeus, poderá ser capitalizado em Portugal por técnicos, construtores e promotores, visando o rejuvenescimento do parque habitacional a longo prazo (Jorge, 2013).

IV. Conclusão

Historicamente, a utilização da madeira na construção foi marcada por desafios de ordem social e técnica, que condicionaram profundamente a sua aplicação nos edifícios. Entre as principais limitações, destacavam-se as restrições dimensionais, que dificultavam o seu uso em edifícios com grandes vãos, e a insuficiente proteção e resistência dos elementos face a fatores como a humidade, as pragas e o fogo, aspetos que condicionavam a durabilidade e solidez das edificações. Adicionalmente, a exploração deste recurso implicava um consumo significativo e a ineficiência no aproveitamento da matéria-prima arbórea, bem como a necessidade de mão-de-obra qualificada para a produção dos ligadores tradicionais, essenciais para uma boa integridade estrutural da madeira. Tais aspetos, combinados com a morosidade das construções e intervenções, e com a escassez de empresas especializadas para trabalhar com esta matéria-prima, contribuíram para que o uso da madeira fosse menos expressivo em comparação com outras soluções construtivas, nomeadamente o betão e o aço.

A realidade atual do setor da construção apresenta desafios significativos, nomeadamente, constata-se a morosidade dos processos construtivos e a incapacidade dos sistemas tradicionais para responder eficazmente às atuais exigências de prazos de intervenção. Esta questão não só prolonga as obras, como também culmina em elevados custos de gestão e logística de estaleiro. Outras problemáticas persistentes incluem a escassez de mão de obra qualificada, a inerente imprevisibilidade e complexidade que caracterizam os projetos de reutilização, e, de forma premente, as elevadas emissões de CO₂ e o consumo expressivo de recursos naturais, com a subsequente escassez destes.

Em Portugal, os sistemas ditos tradicionais de construção continuam a dominar o setor da construção. Não obstante, emerge um reconhecimento progressivo da construção com produtos à base de madeira e derivados, em particular as casas de madeira, a representarem 5% deste mercado. A menor utilização destas soluções aparenta ser ainda consequência da persistência de mitos infundados que prejudicam a perceção acerca deste material e dificultam o seu crescimento para uma larga escala.

A construção nova, ainda predominante em detrimento da reutilização de edifícios, tem contribuído de forma significativa para as problemáticas anteriormente referidas, resultando em custos acrescidos. A reabilitação, por sua vez, enfrenta desafios logísticos e custos elevados, agravados pela necessidade de preservar a integridade estrutural e, por vezes, histórica do edifício. Tal contexto, exige a adoção de soluções que minimizem a intrusão e otimizem o processo. Aliado a esta realidade, o parque habitacional português apresenta um envelhecimento acentuado, com uma considerável percentagem de edifícios construídos antes de 1985, muitos deles devolutos ou em estado de acentuada degradação. Estes edifícios, frequentemente, fazem parte das paisagens urbanas, constituindo uma valiosa herança histórica.

A investigação desenvolvida nesta dissertação revelou múltiplas realidades. Verificou-se, de facto, que o parque habitacional português se encontra envelhecido, e existe um considerável potencial para a reutilização desses edifícios, especialmente através de soluções à base de madeira e os seus derivados.

Além disso, este estudo permitiu constatar que a floresta nacional apresenta potencial para a produção de alguns dos produtos aqui mencionados, o que pode impulsionar a capacidade do país para fabricar este tipo de soluções, com diversos benefícios para a gestão florestal sustentável. Contudo, no contexto atual, os produtos de madeira e os seus derivados registam uma significativa evolução nas suas características, mitigando muitas das desvantagens anteriormente presentes. Evidenciam uma maior viabilidade e versatilidade de soluções, otimizando a eficiência e a gestão da obra, com um desempenho melhorado e com a possibilidade de implementação de intervenções reversíveis.

A integração de soluções baseadas na madeira e nos seus derivados emerge como uma alternativa promissora e a sua combinação com a reutilização de edifícios devolutos oferece benefícios significativos. Estes produtos, pela sua leveza e facilidade de manuseamento, permitem uma construção mais rápida, otimizando os custos e a logística do estaleiro, além de garantir uma maior gestão dos recursos e o rigor técnico. A sua natureza pré-fabricada e a rapidez de montagem contribuem para a redução do tempo de execução da obra, minimizando a necessidade de maquinaria pesada e a intrusividade no local. Este fator é particularmente relevante na reutilização onde a intervenção pode ocorrer sem a interrupção total da utilização do edifício. A utilização de derivados de madeira pode ainda mitigar o problema da escassez de mão de obra qualificada, já que a sua facilidade de aplicação agiliza a formação dos trabalhadores no setor. Por fim, estas soluções apresentam também uma grande versatilidade e adaptação em projetos de reutilização.

Os vários projetos/obras concluídas apresentadas e analisadas nesta dissertação, são a prova destas vantagens. Contudo, para que a madeira e os seus derivados alcancem plenamente o seu potencial, é imperativo que se superem os desafios persistentes. A mentalidade cultural, que muitas vezes privilegia o betão e o tijolo em detrimento desta matéria-prima, exige uma reavaliação. Esta deve ser sustentada pela desmistificação e pela divulgação de conhecimento técnico aprofundado. O futuro da construção será, sem dúvida, influenciado por estes produtos e sistemas, os quais oferecem resposta a inúmeros desafios arquitetónicos e estruturais, e possibilitam soluções criativas e inovadoras.

Em síntese, a presente dissertação comprova que a reutilização de edifícios, potenciada pelo uso de soluções à base de madeira e os seus derivados, estabelece uma abordagem estratégica e fundamental para um futuro mais sustentável e para a renovação do parque edificado em Portugal, destacando-se o (re)uso de edifícios devolutos como uma solução viável para a criação de novas infraestruturas. Esta perspetiva não só oferece respostas eficazes aos problemas ambientais e de escassez de serviços e habitação, como também contribui para a preservação do património e a criação de ambientes mais propícios ao bem-estar humano. A próxima etapa consiste em avaliar se Portugal possui mão de obra e projetistas devidamente qualificados para promover a reutilização dos edifícios existentes, bem como para a aplicação dos produtos derivados de madeira. Além disso, demonstra-se pertinente analisar a capacidade nacional de produção destes materiais, a fim de possibilitar o fornecimento de matéria-prima para a criação destes produtos.

V. Bibliografia

- Aflalo, M.** (2020). Estruturas em madeira: Forma e Método. São Paulo: Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.
- Alas, J.** (16 de Abril de 2013). Reabilitação Urbana. Obtido de Público : <https://www.publico.pt/2013/04/16/local/noticia/grande-porto-ainda-e-a-zona-do-pais-com-mais-edificios-degradados-quase-13-mil-1591504>
- APA.** (s.d.). Agência Portuguesa do Ambiente. Obtido de Política climática da União Europeia: <https://apambiente.pt/clima/politica-climatica-da-uniao-europeia>
- Araújo, A.** (08 de Novembro de 2020). Há 730 mil casas vazias e abandonadas em Portugal. Obtido de Expresso: <https://expresso.pt/economia/2020-11-08-Ha-730-mil-casas-vazias-e-abandonadas-em-Portugal>
- Banema.** (2024). Obtido em 20 de Outubro de 2024, de Banema - Wood e Surfaces: <https://banema.pt/pt/mdf-standard>
- Barbosa, I. A.** (2013). A "pele" em madeira - elemento articulador da pré-fabricação com a especificidade do lugar. Braga: Universidade do Minho - Escola de Arquitetura.
- Barbosa, P. C.** (2023). Aplicações Arquitetónicas de um sistema modular pré-fabricado de madeira. Braga: Universidade do Minho - Escola de Engenharia.
- Barbosa, S. I.** (2015). Reforço de ligações tradicionais de madeira. Braga: Universidade do Minho - Escola de Engenharia.
- Barbosa, S., Branco, J. M., & Ferreira, F.** (2017). Reforço de ligações tradicionais de madeira. Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas, III(3), 21-34.
- Belitardo, A.** (2023). Archdaily. Obtido em 12 de Outubro de 2024, de <https://www.archdaily.com.br/br/1006650/reconectar-com-a-natureza-usando-madeira-em-projetos-de-interiores>
- Branco, J. M.** (2013). Casas de madeira. Da tradição aos novos desafios. Em P. B. Lourenço, J. M. Branco, H. Cruz, & L. Nunes, Casas de Madeira - Seminário (pp. 75-86). Lisboa.
- Cachim, P. B.** (2014). Construção em madeira - a madeira como material de construção (2º edição) (2º ed.). Porto: Publíndústria, Edições Técnicas.
- Correia, G. d.** (2009). Estudo de Casos - Gestão de Operações de Reabilitação de Edifícios Antigos. Porto: Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto.
- Craft, S.** (s.d.). Structure Craft. Obtido em 12 de Julho de 2024, de <https://structurecraft.com/materials/engineered-wood/parallel-strand-lumber>

- Cruz, H.** (2013). Casas de Madeira - Panorama nacional, certificação e homologação. Em P. B. Lourenço, J. M. Branco, H. Cruz, & L. Nunes (Edits.), Casas de Madeira (pp. 1-12). Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Cruz, H., & Nunes, L.** (29 de Outubro de 2024). A madeira como material de construção. Obtido de Ordem dos Arquitetos - Secção Regional Norte: <http://www.oasrn.org/3R/conteudos/areareservada/areareservada8/Madeira%20material%20de%20construcao-%20HC.pdf>
- Comissão Europeia,** (2012). Comunicação da Comissão Estratégica para a compatibilidade sustentável do setor da construção e das suas empresas. Obtido de Estratégia para a competitividade sustentável do setor da construção e das suas empresas: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/ALL/?uri=CELEX:52012DC0433>
- Estatística, I. -I.** (29 de Outubro de 2024). Estatísticas da Construção e Habitação. Obtido de Instituto Nacional de Estatística: www.ine.pt
- Florian, M. C.** (2023). ArchDaily. Obtido em 24 de Setembro de 2024, de <https://www.archdaily.com.br/br/1007174/da-tradicao-a-inovacao-como-as-tecnologias-modernas-estao-transformando-o-potencial-da-madeira>
- Franco, J. T.** (2020). ArchDaily. Obtido em 04 de 07 de 2024, de <https://www.archdaily.com.br/br/922665/a-madeira-laminada-cruzada-clt-e-o-concreto-do-futuro>
- Florestas** (03 de Julho de 2024). Obtido de Florestas.pt: <https://florestas.pt/valorizar/madeira-para-construcao-solucoes-estruturais-moldadas-pela-engenharia/>
- Florestas** (4 de Outubro de 2022). <https://florestas.pt/valorizar/falta-de-madeira-em-portugal-aumentar-productividade-e-prioridade/>
- Gervásio, H.** (2013). Análise de ciclo-de-vida de casas de madeira. Em P. B. Lourenço, J. M. Branco, H. Cruz, & L. Nunes, Casas de Madeira - Seminário (pp. 63-75). Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Hakkarainen, J.** (2019). LVL Handbook - Europe. Helsinki: Federation of the Finnish Woodworking Industries.
- Homify.** (2024). Obtido em 19 de Outubro de 2024, de Homify Internacional: <https://www.homify.pt>
- ICNF.** (2015). 6ª Inventário Florestal Nacional. Portugal: INF.
- INE.** (2001). Censos 2011 - Resultados definitivos: XIV recenseamento geral da população. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística.

Bibliografia

- INE.** (2012). Censos 2011 Resultados Definitivos - Portugal. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística.
- INE.** (2022). Censos 2021 Resultados Definitivos - Portugal. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística.
- INE.** (2023). O que nos dizem os Censos. Obtido de Instituto Nacional de Estatística: www.ine.pt
- INE.** (2024). Obtido em 24 de Junho de 2024, de Instituto Nacional de Estatística: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_main&xpid=INE
- Jorge, L.** (2013). Edifícios construídos com painéis de madeira lamelada-colada cruzada (X-Lam). Em P. B. Lourenço, J. M. Branco, H. Cruz, & L. Nunes, Casas de Madeira - Seminário (pp.49-63). Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Jular.** (2024). Jular. Obtido em 16 de Julho de 2024, de <https://www.jular.pt>
- Kronospan.** (2024). Kronospan. Obtido em 18 de Outubro de 2024, de <https://kronospan.com>
- Lourenço, P. B., Branco, J. M., Cruz, H., & Nunes, L.** (2013). Casas de Madeira. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Lourenço, P. B., Branco, M. J., Mendes, N., Costa, A., & Candeias, P.** (2013). Avaliação experimental do comportamento sísmico de casas de madeira. Em P. B. Lourenço, J. M. Branco, H. Cruz, & L. Nunes, Casas de Madeira - Seminário (pp. 13-29). Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Marinho Marques, L. M.** (2008). O papel da madeira na sustentabilidade da construção. Porto: Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto.
- Martins, A.;** (2024). A.Martins. Obtido em 19 de Outubro de 2024, de <https://www.a-martins.pt/platex>
- Martins, G. L.** (2021). Guia de soluções de madeira para reabilitação. Braga: Universidade do Minho - Escola de Engenharia.
- Mezeiro, R. M.** (2018). Construir em Madeira - Aplicabilidade de Painéis CLT em Habitação de Média Densidade em Portugal. Lisboa: Universidade de Lisboa - Faculdade de Arquitetura.
- Migliani, A.** (2019). Archdaily. Obtido em 16 de Outubro de 2024, de <https://www.archdaily.com.br/br/928061/o-que-e-madeira-laminada-colada-mlc-ou-glulam>

- Minha Cabana;** (29 de Outubro de 2024). Os cuidados para uso da madeira na construção. Obtido de Minha Cabana: <https://minhacabana.com.br/cuidados-para-uso-da-madeira-na-construcao>
- Moreira, S.** (21 de Outubro de 2019). O que é reuso adaptativo? Obtido de Archdaily: https://www.archdaily.com.br/br/926724/o-que-e-reuso-adaptativo?ad_source=search&ad_medium=search_result_articles
- Multiplacas.** (2024). Multiplacas - plywood experts. Obtido em 15 de Outubro de 2024, de <https://multiplacas.pt>
- Nunes, L.** (2013). Bases para a monitorização do risco de degradação na construção de casas de madeira. Em P. B. Lourenço, J. M. Branco, H. Cruz, & L. Nunes (Edits.), Casas de Madeira (pp. 29-38). Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Oliveira, C. F.** (2019). Manual de Madeira na arquitetura contemporânea. Paraná: Universidade Federal do Paraná.
- Oliveira, R.** (2013). Dimensionamento de Estruturas em Madeira - Metodologia e disposições regulamentares relativamente a ligações. Lisboa: Instituto Superior Técnico - Universidade de Lisboa.
- Ordem dos Arquitectos;** (25 de Outubro de 2024). Reabilitação - intervenção integrada de adaptação de uma construção ou sítio com o objetivo de permitir a sua utilização, que procura a melhorar os seus níveis de desempenho e implica a preservação dos valores com significado cultural nele existentes. Obtido de Ordem dos Arquitectos: <https://arquitectos.pt/>
- Pereira, A. R.** (2013). Operações de Reabilitação de Edifícios Antigos - Organização de um Sistema de Informação Transversal a todo o Processo. Porto: Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto.
- Pessoa, C. L.** (2016). Avaliação Técnico - Económica de soluções de Reabilitação Baseadas em Painéis CLT - Um estudo de caso. Coimbra.
- Portugal, C.** (17 de Fevereiro de 2023). Mas, afinal, o que são casa devolutas?
- Project, L. P., & Kuklik, P.** (2008). Handbook 1 - Timber Structures (1º ed.). Praga: Leonardo da Vinci Pilot Project.
- Silva, J. C.** (2014). Potencialidades de Elementos Pré-fabricados de Madeira na Reabilitação. Braga: Universidade do Minho - Escola de Engenharia.
- Silva, M. E., Dias, A., & Lousada, J. L.** (2013). Madeira de Pinho - Características e utilização. Maia: Tipografia Lessa.

Sven, T., & Larsen, J. H. (2003). Timber Engineering (2º ed.). West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.

Tolko; (26 de Outubro de 2024). Technical Guide (ASD-USA) - Floor/Roof Joists. Obtido de Tolko: <https://tolko.com>

Torgal, F. P., & Jalali, S. (2010). A sustentabilidade dos materiais de construção. TecMinho.

Torres, E. V. (2021). Ligações Estruturais de Madeira Segundo o Novo Eurocódigo 5. Braga: Universidade do Minho - Escola de Engenharia.

UCEM - University College Of Management. (1 de Maio de 2024). Obtido de UCEM - University College Of Management: <https://www.ucem.ac.uk/whats-happening/articles/what-is-adaptive-reuse/>

UE, (s.d.). *O que é o Interreg Sudoeste? - Interreg Sudoeste.* Interreg Sudoeste. <https://interreg-sudoeste.eu/pt-pt/acerca-de-interreg-sudoeste/que-es-interreg-sudoeste/#:~:text=O%20Interreg%20Sudoeste%20é%20um%20programa%20de,entre%20as%20regiões%20do%20Sudoeste%20da%20Europa.>

Weyerhaeuser Company; (26 de Outubro de 2024). Trus Joist - Beams, Headers and Columns . Obtido de Weyerhaeuser: <https://www.weyerhaeuser.com>

Wood, N. (2024). Naturally Wood. Obtido em 12 de Julho de 2024, de <https://www.naturallywood.com/products/parallel-strand-lumber/>

Bibliografia das figuras

VI. Créditos das Figuras

Figura 01 - <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.publico.pt%2F2018%2F05%2F25%2Flocal%2Fnoticia%2Fpinheirobravo-subir-ao-ceu-para-dar-nova-vida-a-terra-1832140&psig=AOvVaw3I3BdUZL8cEmZ0Z7LaokIG&ust=1748023255801000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjRxqGAoTCIiqy9PXt40DFQAAAAAdAAAAABDiAQ>

Figura 02 - <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fflorestas.pt%2Fvalorizar%2Fpara-que-serve-a-madeira-de-eucalipto%2F&psig=AOvVaw0rTDjemCFt211KYsw49-j1&ust=1748025386587000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjRxqFwoTCMia9ZXct40DFQAAAAAdAAAAABbn>

Figura 03 - https://images.adsttc.com/media/images/6294/e081/d303/0001/670e/4a4a/slideshow/gutshof-guldenhof-heim-balp-architekten_7.jpg?1653924025

Figura 04 - <https://images.adsttc.com/media/images/5645/314d/e58e/ce94/e500/01ef/slideshow/Pod05CraigAuckland.jpg?1447375151>

Figura 05 - <https://www.archdaily.com.br/br/928061/o-que-e-madeira-laminada-colada-mlc-ou-glulam/>

Figura 06 - https://www.more4view.sk/wp-content/uploads/2023/10/clt_1-1286x800.jpg

Figura 07 - <https://www.archdaily.com/999815/how-thermal-modification-can-make-wood-in-architecture-last-lifetime/64414c23dba0a502ccf8a8e5-how-thermal-modification-can-make-wood-in-architecture-last-a-lifetime-image>

Figura 08 - <https://www.archdaily.com/999815/how-thermal-modification-can-make-wood-in-architecture-last-a-lifetime/64414c29dba0a52c336e1254-how-thermal-modification-can-make-wood-in-architecture-last-a-lifetime-image>

Figura 09 - <https://intralogrs.com.br/wp-content/uploads/2017/03/madeira-6.jpg>

Figura 10 - https://www.archdaily.com.br/br/1007174/da-tradicao-a-inovacao-como-as-tecnologias-modernas-estao-transformando-o-potencial-da-madeira/650c186f0e2c3a3e9c61c931-from-tradition-to-innovation-how-modern-technologies-are-transforming-the-potential-of-wood-photo?next_project=no

Figura 11 - https://images.divisare.com//images/c_limit,f_auto,h_2000,q_auto,w_3000/v1679566317/188ba239-c901-4acf-b0e9-032afdeaad5e/lukas-lenherr-florian-amoser-six-frames.jpg

Figura 12 - https://www.archdaily.com.br/br/926598/loft-michigan-vladimir-radutny-architects/5d6d1e1a284dd18238000202-michigan-loft-vladimir-radutny-architects-photo?next_project=no

Figura 13 - https://www.archdaily.com.br/br/944715/como-curvar-madeira/5f218b93b357653d3a00085f-como-curvar-madeira-foto?next_project=no

Figura 14 - (Barbosa S. I., 2015)

Figura 15 - https://www.jular.pt/files/referencias/01DSC00008_L900.jpg

Figura 16 - https://www.jular.pt/files/images/institucional/toros_intro_L900.jpg

Figura 17 - https://www.jular.pt/files/images/institucional/prancha_intro_L900.jpg

Figura 18 - https://images.adsttc.com/media/images/5e4e/cff9/6ee6/7e61/0e00/000a/slideshow/shutterstock_1560189347.jpg?1582223348

Figura 19 - https://images.adsttc.com/media/images/5e4e/cfee/6ee6/7e61/0e00/0009/slideshow/shutterstock_655219906.jpg?1582223336

Figura 20 - https://tradewarebuildingsupplies.com/wp-content/uploads/2020/07/Engineered-Wood-Products-EWP_Tradeware-Building-Supplies-1200px-1.jpg

Figura 21 - https://figures.academia-assets.com/58316732/figure_035.jpg

Figura 22 - <https://multiplacas.pt/wp-content/uploads/2021/01/kerto-q1.jpg>

Figura 23 - <https://multiplacas.pt/wp-content/uploads/2021/01/kerto-q3.jpg>

Figura 24 - <https://divisare.com/projects/468109-studio-weave-jim-stephenson-lea-bridge-library-pavilion>

Figura 25 - <https://www.fastepp.com/wp-content/uploads/FE-PSL-Weyerhaeuser-credit-FE-2.jpg>

Figura 26 - <https://18lumber.com/wp-content/uploads/2022/11/TJI-joist-engineered.jpeg>

Figura 27 - <https://architizer-prod.imgix.net/media/13837774302825s.jpg>

Figura 28 - https://kfalosangeles.com/wp-content/uploads/2017/05/Lafayette-Library_Slides3.jpg

Figura 29 - <https://www.world-architects.com/pt/revery-architecture-vancouver/project/arena-stage-at-mead-center-for-american-theater>; <https://structurecraft.com/projects/arena-stage-theater>

Figura 30 - https://www.google.com/imgres?q=LSL%20tolko&imgurl=https%3A%2F%2Ftolko.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2023%2F01%2F20230104_115347.png&imgrefurl=https%3A%2F%2Ftolko.com%2Ftolko-products%2Flsl-ewp-and-industrials%2F&docid=-Ax0qorO84T07M&tbnid=EqTcxOXNcsNYbM&vet=12ahUKEwiP2oypi7-NAxU2TaQEHyNZBy0QM3oECBgQAA.i&w=1613&h=881&hcb=2&ved=2ahUKEwiP2oypi7-NAxU2TaQEHyNZBy0QM3oECBgQAA

Figura 31 - <https://midwaybuildingsupply.com/wp-content/uploads/2017/09/framing-620x380.jpg>

Figura 32 - <https://structurecraft.imgix.net/assets/main/projects/sait-parkade-glazed-timber-skylight-4-1140x1050.jpg?ixlib=php-3.3.1&q=90&w=1600>

Figura 33 - <https://structurecraft.imgix.net/assets/main/projects/sait-parkade-glazed-timber-skylight-6-760x667.jpg?ixlib=php-3.3.1&q=90&w=1600>

Figura 34 - <https://mg-architecture.ca/project/north-vancouver-city-hall/>

Figura 35 - <https://www.naturallywood.com/wp-content/uploads/curved-glulam-structurlam-facility.jpg.webp>

Figura 36 - <https://cltkorea.or.kr/wp-content/uploads/elementor/thumbs/클루랩1-qnhwsiq94ski8fger388ry4ra76sbvpvwt2dng5gqo.png>

Figura 37 - <https://atelier981.org/project/rehabilitation-du-palais-rameau/>

Figura 38 - https://www.jular.pt/files/images/estruturas/I-joist_intro2_L900.jpg

Figura 39 - https://www.jular.pt/files/images/estruturas/I-joist_intro3_L900.jpg

Figura 40 - https://www.jular.pt/files/referencias/07_jular_070_L900.jpg

Figura 41 - https://www.jular.pt/files/referencias/08_jular_083_L900.jpg

Figura 42 - <https://www.jular.pt/referencias/reabilitacao/rua-sa-da-bandeira-porto>

Figura 43 - <https://www.rothoblaas.pt/images/CLT-01-1602064332.jpg>

Figura 44 - https://www.archdaily.com.br/br/922665/a-madeira-laminada-cruzada-clt-e-o-concreto-do-futuro/5d519ae0284dd1d5e2000893-a-madeira-laminada-cruzada-clt-e-o-concreto-do-futuro-imagem?next_project=no

Figura 45 - https://images.divisare.com//images/c_limit,f_auto,h_2000,q_auto,w_3000/v1744290573/7c29b08e-86e9-4c51-89fa-54979790d871/iaac-adria-goula-cora.jpg

Figura 46 - https://images.divisare.com//images/f_auto,q_auto,w_800/v1507623339/zyvicac3zooouli2bdvw/bast-e26.jpg

Figura 47 - <https://divisare.com/projects/432195-neutelings-riedijk-architects-bureau-bouwtechniek-filip-dujardin-sarah-blee-tim-fisher-gare-maritime-brussels>

Figura 48 - https://www.sonaearauco.com/media/pxzlw3q/1655481388_224f131f5f92679fd7373bf5cb4d405e.png

Figura 49 - https://images.divisare.com//images/c_limit,f_auto,h_2000,q_auto,w_3000/v1675273944/iaqv7d7bv3ltoorv5cgl/takk-jose-hevia-10k-house.jpg

Figura 50 - <https://divisare.com/projects/211008-comoco-arquitectos-fernando-guerra-fg-sg-n10-ii-sports-facility-coimbra-portugal>

Figura 51 - <https://na.arauco.com/medias/Fibrex-paint-woodgrain-group-515Wx515H?context=bWFzdGVyfGlTYWdlc3wxNzIxN3xpbWFnZS9qcGVnfGFESmlMMmhoTUM4NE56azNOamN3TVRRMk1EYzRMMFpwWW5KbGVGOXdZV2x1ZEMxM2IyOWtaM0poYVc0dFozSnZkWEJmTIRFMVYzZzFNVFZJfDljMjJIYWJjMTBkMmVINDJkMDk5NzQ5OTVhNTgxNTVvZTYxYTZkM2Q3ZWY5YjAzMjE4MjU5NGF1ZmJhY2MwMzg>

Figura 52 - <https://cdn.goodao.net/chenhongwood/HTB17YrDXoY1gK0jSZFCq6AwqXXag.jpg>

Figura 53 - <https://www.archdaily.com/928067/blue-bottle-coffee-daimaru-tokyo-cafe-stand-schemata-architects>

Figura 54 - <https://cdn.globalso.com/dongstar/Raw-Particle-Board.jpg>

Figura 55 - https://www.pfleiderer.com/file_pim/_processed_/d/e/csm_reference-dav-kletterzentrum-neumarkt-im0020408_5ba2943e0b.jpg

Figura 56 - <https://kkaa.co.jp/en/project/teikyo-university-elementary-school/>

Figura 57 - <https://archello.com/thumbs/images/2021/11/18/investwood-viroc-composite-materials-archello.1637233163.055.jpg>

Figura 58 - https://images.divisare.com//images/c_limit,f_auto,h_2000,q_auto,w_3000/v1/project_images/5036705/_GG_9039/dnsj-arq-centre-for-creative-activities.jpg

Figura 59 - https://images.divisare.com//images/f_auto,q_auto,w_800/v1/project_images/4105653/cf_vrc_29_60291/castroferro-arquitectos-hector-santos-diez-piso-viroc.jpg

Figura 60 - https://images.divisare.com//images/f_auto,q_auto,w_800/v1/project_images/4105661/cf_vrc_13_60363/castroferro-arquitectos-hector-santos-diez-piso-viroc.jpg

Figura 61 - <https://www.archdaily.com/625194/cim-mouraria-creative-hub-dnsj-arq>

Figura 62 - <https://bassani.com.br/wp-content/uploads/2015/11/painel-osb-1600x800.jpg>

Figura 63 - https://www.archdaily.com.br/br/757237/escritorio-pkmm-architectures-cria-casa-flexivel-em-madri/54622dd4e58eceedac00002c?next_project=no

Figura 64 - https://images.adsttc.com/media/images/5462/2b83/e58e/ceed/ac00/0027/large_jpg/23.jpg?1415719776

Figura 65 - https://images.adsttc.com/media/images/6250/90cc/3e4b/31d5/2400/000b/slideshow/Thomas_Jantscher_.jpg?1649447110

Figura 66 - <https://www.carloscastanheira.pt/project/revigres-offices/>

Figura 67 - <https://bmadeiras.geekstation.pt/loja/contraplacado/>

Figura 68 - https://www.archdaily.com.br/br/1020961/escritorio-hoi-construction-inorder-studio/66db6b8a5030bc5c72eb1156-hoi-constructions-office-inorder-studio-photo?next_project=no

Figura 69 - <https://divisare.com/projects/302249-joao-mendes-ribeiro-fernando-guerra-fg-sg-luis-ferreira-alves-centre-for-visual-arts-cav>

Figura 70 - (Barbosa S. I., 2015) / <https://images.adsttc.com/media/images/60fa/21f0/ddb4/d801/641d/44fa/slideshow/nelson-kon.jpg?1627005429>

Figura 71 - <https://issuu.com/rothoblaas/docs/structural-restoration-en?mode=embed>
(p. 04)

Figura 72 - https://www.strongtie.pt/sites/default/files/styles/default_col_12_landscape/public/field_media_image_1/2021/05/26/230228/collection-header-connexions-pour-charpentes-industrielles.jpg?itok=No5uZc2B / https://issuu.com/rothoblaas/docs/chapas_e_conectores_para_madeira_-_2024?fr=xKAE9_zU1NQ&mode=embed (p. 325) / https://issuu.com/rothoblaas/docs/chapas_e_conectores_para_madeira_-_2024?fr=xKAE9_zU1NQ&mode=embed (p. 163)

Bibliografia das figuras

Bibliografia das figuras