



UNIVERSIDADE  
**LUSÓFONA**  
D O P O R T O

Matheus Thomaz Balestrin

**O Uso da Madeira Lamelada  
em Edificações de Grande Porte**

Trabalho realizado sob orientação do

**Prof. Doutor António Sérgio Koch de Araújo e Silva**







Matheus Thomaz Balestrin

## **O Uso da Madeira Lamelada em Edificações de Grande Porte**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Arquitetura

Dissertação defendida em provas públicas

na Universidade Lusófona do Porto no dia 11/10/2021

perante o júri seguinte:

Presidente: Prof. Doutor Pedro Cândido Almeida D'Eça Ramalho

Arguente: Prof. Eng<sup>o</sup> Rui Ramalhete Moutinho Furtado ( Universidade Lusófona do Porto)

Orientador

Prof. Doutor António Sérgio Koch de Araújo e Silva

Outubro de 2021

É autorizada a reprodução integral desta dissertação apenas para efeitos de investigação, mediante declaração escrita do interessado, que a tal se compromete.

## **Agradecimentos**

Agradeço ao meu orientador Doutor António Sérgio Koch de Araújo e Silva pela ajuda e orientação, aos meus professores de projeto, aos meus colegas, a minha namorada Marina pela ajuda na pesquisa, a minha família, meus amigos e todo o corpo docente da Universidade Lusófona do Porto.

## **O Uso da Madeira Lamelada em Edificações de Grande Porte**

### **Resumo:**

A dissertação de mestrado denominada “O Uso da Madeira Lamelada em Edificações de Grande Porte”, apresenta a Madeira Lamelada Colada (MLC) como um material essencial para o futuro da arquitetura mundial. São apresentados todos os contextos ambientais que incentivaram o avanço tecnológico na confecção de produtos em madeira engenheirada, e o porquê devemos fomentar a utilização desse material no futuro. O processo completo da produção das peças de Madeira Lamelada Colada é abordado, possibilitando uma melhor compreensão dos procedimentos necessários para a construção de uma edificação com o sistema estrutural em MLC.

Para fins deste estudo, foram escolhidas edificações com no mínimo 2000m<sup>2</sup> de área para o estudo mais a fundo, excluindo edificações com programas comerciais e de habitação coletiva. O escopo de obras de referência foi escolhido por apresentar dois tipos de pensamento sobre a utilização da madeira engenheirada, demonstrando diferentes soluções construtivas. O projeto realizado na cadeira de projeto do 5º ano também é analisado de maneira comparativa entre as outras referências.

Na parte final do trabalho, são apresentados os dados técnicos da Madeira Lamelada Colada, assim como os pormenores construtivos, possibilitando um entendimento das características e oportunidades apresentadas pela madeira. Outro fator abordado é a questão sensorial e emocional da madeira, que por se tratar de um recurso natural, possui um impacto na percepção do espaço.

Palavras-Chave: Estrutura, Madeira, MLC, Sustentabilidade, Conforto.

# **The Use of Glue Laminated Timber in Large Buildings**

## **Abstract:**

The master's thesis entitled "The Use of Glue Laminated Timber in Large Buildings", presents the Glued Laminated Timber (Glulam) as an essential material for the future of global architecture. All the environmental context that encouraged technological advances in the manufacture of engineered wood products are presented, as well as the reason we should encourage the use of this material in the future. The complete production process of the pieces of Glued Laminated Timber is described, allowing a better understanding of the basic procedures for the construction of a building with a Glulam structural system.

For the purpose of this study, buildings with at least 2000m<sup>2</sup> of area were chosen to be analyzed, excluding commercial and housing buildings. The scope of reference works was chosen to present two types of thinking about the use of engineered wood, demonstrating different construction solutions. The project developed in the 5th year project class is also analyzed in a comparative way among the other references.

In the final part of the work, the technical information of the Glued Laminated Timber is presented, in addition to the constructive details, allowing a better understanding of the characteristics and technical opportunities of wood. Another factor addressed is the sensory and emotional factor of wood, because since it is a natural resource, it has an impact on the perception of the space.

Keywords: Structure, Timber, Glulam, Sustainability, Comfort.

# ÍNDICE

<b>Agradecimentos</b>	<b>I</b>
<b>Resumo</b>	<b>II</b>
<b>Abstract</b>	<b>III</b>
<b>Índice</b>	<b>IV</b>
<b>I. Introdução:</b>	
1.1 Contextualização	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Estado da Arte	3
1.4 Metodologia Adota e Estrutura do Trabalho	4
<b>II. Reflexão Teórica</b>	
2.1 Conceito	6
2.2 Aquecimento Global	6
2.3 Poluição da Construção Civil	8
2.4 A Madeira como Método Construtivo	10
2.5 A Madeira Lamelada Colada	12
2.6 Outros Produtos de Madeira Engenheira	14
2.7 Processo de Fabricação da Madeira Lamelada Colada	15
2.8 Referências Arquitetônicas	17
<b>III. Análise das Referências</b>	
3.1 Centro Equestre	21
3.2 Centre Pompidou Metz	29
3.3 Museu Ponte de Madeira Yusuhara	37
<b>IV. Análise Comparativa</b>	<b>45</b>
<b>V. Análise do Projeto</b>	<b>51</b>

<b>VI. Memória Descritiva</b>	
6.1 Opções Tecnológicas e Construtivas	61
6.2 Desempenho em Obras	69
6.3 Conforto Sensorial	72
<b>VII. Considerações Finais</b>	74
<b>Referências Bibliográficas</b>	77
<b>Índice de Imagens</b>	80

## 1.1. Contextualização

O mundo em que vivemos vem sofrendo grandes mudanças nas últimas décadas, com grandes avanços tecnológicos e um declínio na condição ambiental. A saúde do planeta não é a mesma do início do século XX, havendo um grande acréscimo de poluição do planeta. O ritmo acelerado da urbanização, os novos métodos construtivos, e o aumento da industrialização, aumentaram a emissão de carbono na atmosfera, o que contribui em grande parte para o aquecimento global.

A arquitetura tem um papel fundamental no futuro do nosso planeta, sendo capaz de mudar o cenário ambiental atual, e trazer novas soluções para as dificuldades que estamos enfrentando. A elaboração de novas edificações deve responder aos problemas existentes em relação a sustentabilidade e tirar proveito de toda a tecnologia presente atualmente. O arquiteto tem um papel de protagonista na mudança da percepção de como edificações devem ser construídas, conseqüentemente incentivando a diminuição das emissões de dióxido de carbono, e o “sequestro” do CO<sub>2</sub> já presente na atmosfera.

Uma das principais ferramentas a disposição dos arquitetos para projetar um novo futuro é a madeira engenheirada, um material construtivo que cada vez mais vem sendo usado, e que permite um desempenho estrutural similar ao aço e ao betão, porém muito menos poluente. Através de processos industriais, a madeira, que caiu em desuso no século passado, aparece como um material essencial para as construções do futuro, sendo o único recurso natural que é possível repor à natureza.

A madeira engenheirada surge como uma nova opção estrutural a ser adota na construção, não somente como um substituto ao aço e ao betão, mas sim possibilitando um novo leque de soluções estruturais.

## 1.2. Objetivos

O trabalho tem como principal objetivo a compreensão de todos os aspectos e características da Madeira Lamelada Colada (MLC), um material construtivo que vem sendo cada vez mais usada nos dias de hoje. Para fins deste estudo foram estudadas edificações de médio à grande porte (a partir de 2000m<sup>2</sup> de área construída), excluindo projetos com programas de habitação coletiva e comerciais, pois esses projetos tendem a não ter grandes vãos livres, adotando um sistema estrutural convencional, conseqüentemente não seria possível perceber os limites da Madeira Lamelada Colada. A fim de assimilar todos os aspectos e características do material, será estudado todo o processo de fabricação do produto de madeira engenheirada, desde o plantio da semente até a instalação da peça na construção. Também é importante traçar um comparativo entre a MLC e os principais materiais construtivos da atualidade, o betão e o aço, analisando o desempenho estrutural, custo de obra e o impacto ambiental. Outros aspectos que devem ser estudados são os pormenores construtivos, em especial as ligações entres os elementos de Madeira Lamelada Colada, desde as soluções mais tradicionais assim como soluções únicas implantadas em obras específicas. Através da realização do trabalho, visa-se obter conhecimento suficiente sobre a Madeira Lamelada Colada e suas soluções construtivas, apresentando o material que deve ganhar cada vez mais espaço no cenário da arquitetura mundial.

### 1.3. Estado da Arte

A Madeira Lamelada Colada vem sendo usada com maior frequência nas estruturas de diversas edificações nos últimos anos. O material, que vem ganhando cada vez mais importância e relevância no cenário mundial da arquitetura, já está sendo adotado por arquitetos coroados pelo prêmio Pritzker, como Frank Gehry, Shigeru Ban, Kazuyo Sejima e Ryue Nishizawa. A MLC permite sua utilização em edificações de diversas escalas, desde residências unifamiliares até estádios nacionais. O interesse na madeira engenheirada e o aumento do seu uso incentivou a publicação de diversos livros, artigos e manuais sobre o tema, assim sendo possível introduzir e divulgar o método construtivo para mais arquitetos.

Atualmente as publicações sobre a madeira engenheirada abordam temas específicos, como pormenores construtivos, possibilidades e o uso da madeira em edificações de pequena escala, sendo elas principalmente residenciais unifamiliares. Essas informações são essenciais para o entendimento do método construtivo em si, porém ainda existe uma lacuna de publicações comparativas entre a madeira engenheirada e os materiais construtivos do século XX, assim como publicações de informações sobre edificações de grande escala em madeira. Os pormenores construtivos e manuais de desenho da Madeira Lamelada Colada mostram as soluções convencionais do uso do material, não apresentando as possibilidades únicas do sistema construtivo de madeira. A madeira apresenta características únicas, e deve ser projetada com o intuito de aproveitar tais características a fim de projetar algo que potencialize o material. O estudo que será feito visa preencher essas lacunas, expondo as vantagens e desvantagens da madeira em relação com outras materialidades, e apresentando obras de grande porte que utilizam da madeira engenheirada no seu sistema construtivo e as soluções adotadas, tanto as convencionais como as desenhadas pelos arquitetos para um projeto específico.

#### 1.4. Metodologia Adotada e Estrutura do Trabalho

Para a realização do trabalho serão consultados relatórios ambientais, econômicos, manual técnicos, assim como livros técnicos e teóricos sobre a madeira engenheirada. A partir do material estudado e coletado, serão retiradas informações técnicas, pormenores construtivos, plantas, cortes, alçados, esquemas, características do material, referências e considerações teóricas sobre a madeira engenheirada e edificações que adotam a MLC em sua estrutura. Através dessas informações será possível fazer uma análise comparativa entre a madeira, o betão e o aço, assim como uma análise do atual cenário ambiental mundial, que incentiva o uso da madeira engenheirada como sistema estrutural do futuro.

O estudo será dividido em seis etapas, a fim de abordar todos os aspectos da construção em madeira engenheirada, principalmente da madeira lamelada colada (MLC). Na primeira etapa do trabalho será feita uma reflexão teórica, abordando o conceito do trabalho, explicando o porquê da necessidade do uso da madeira engenheirada na construção civil, apresentando os principais produtos da madeira engenheirada, assim como a apresentação de edificações que serão analisadas como referência posteriormente. Na segunda parte do trabalho, as obras de referência serão abordadas mais a fundo, sendo feita uma análise dos projetos, e as soluções construtivas adotadas, demonstrando como a MLC foi usada nas edificações. No capítulo IV será realizada uma análise comparativa entre as referências e o projeto realizado na cadeira de Projeto 5, onde também foi utilizada a madeira engenheirada. A comparação entre os diferentes projetos levará em conta não apenas os pormenores construtivos, mas também o conceito em que a construção em madeira foi abordada pelos arquitetos. No capítulo V, o projeto feito na cadeira de Projeto 5 será analisado, abordando a localização, o programa, o sistema construtivo e os detalhamentos da madeira engenheirada.

Após a análise do projeto, o próximo capítulo irá tratar da memória descritiva, onde serão dissecados os desempenhos ambientais, estruturais, econômicos e sensoriais da madeira, em relação ao betão e ao aço. Outro elemento que será abordado nesta fase do trabalho são os

pormenores construtivos, não como um catálogo, mas como uma pequena amostra das possibilidades de soluções que a madeira engenheira apresenta. Por último, serão feitas as considerações finais do trabalho, onde serão apresentadas as conclusões retiradas após a realização do estudo.

## II. REFLEXÃO TEÓRICA

### 2.1 Conceito:

Atualmente a humanidade encara um grande problema que afeta a saúde do nosso planeta: o aumento da poluição atmosférica. Com o aumento da urbanização do planeta, e consequentemente o crescimento das cidades, houve um acréscimo no número de novas construções. As edificações que irão ser construídas no futuro devem ser capazes de contribuir para a melhora ambiental do planeta, diminuindo a poluição e extração de recursos naturais. A arquitetura de grande porte serve como um importante vetor, que poderá direcionar o rumo da arquitetura nos próximos anos. Ao construir edificações dessa magnitude é possível explorar as capacidades construtivas da madeira engenheirada, assim como apresentá-la para a sociedade como solução construtiva.

### 2.2 Aquecimento Global:

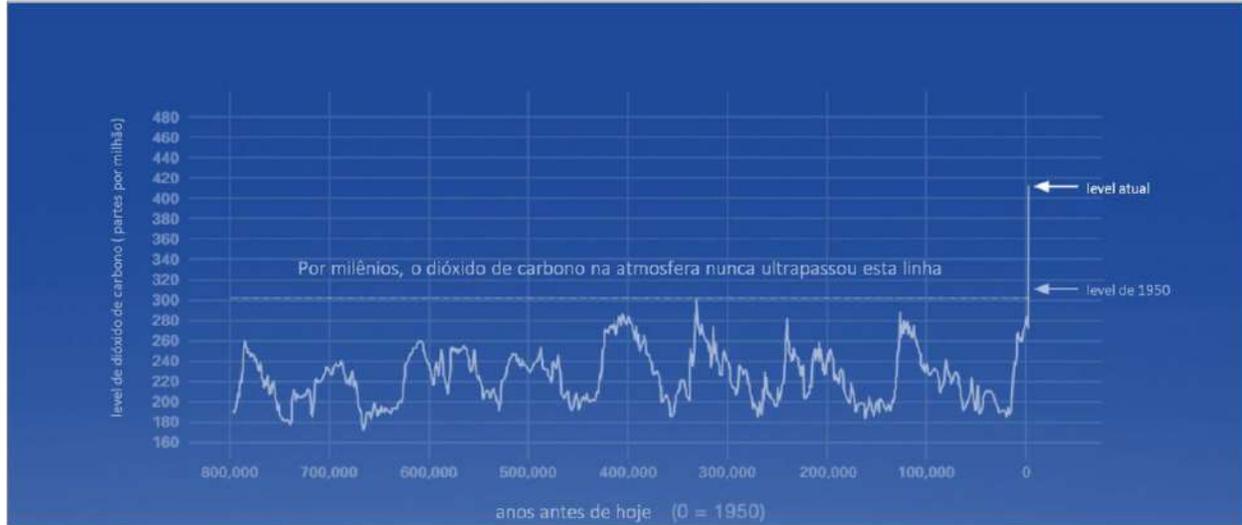


Imagem 1: A imagem contém uma análise da quantidade de CO<sub>2</sub> presente na atmosfera através do tempo, demonstrando um grande acréscimo, principalmente a partir da revolução industrial. (fonte: Luthi, D., et al. 2008; Etheridge, D.M., et al. 2010; Vostok ice core data/J.R. Petit et al.; NOAA Mauna Loa CO<sub>2</sub> record)

O nosso planeta já passou por diversos ciclos climáticos, onde a temperatura média global variava entre 3 e 8 graus célsius. Os períodos em que a temperatura baixou são conhecidos como eras do gelo, e os períodos mais quentes são chamados de períodos interglaciais. Esses períodos

de variação da temperatura global tendem a durar por volta de 100 mil anos, e se dão devido a pequenas variações na relação entre o nosso planeta e o sol. Apesar dessas variações térmicas, o mundo sempre manteve um equilíbrio, e teve sua última grande era do gelo há 20 mil anos atrás<sup>1</sup>.

A partir da revolução industrial, a humanidade começou a contribuir de maneira imprudente para o aumento da temperatura do planeta. O aquecimento global é um fenômeno causado pelo acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera, danificando a camada de ozônio. Os níveis de CO<sub>2</sub> presentes atualmente na atmosfera são os maiores da história, algo que se não for mudado logo, poderá chegar a um ponto sem volta. Cientistas da NASA afirmam que só nos últimos 100 anos a temperatura aumentou em uma velocidade dez vezes maior em relação aos períodos de aquecimentos globais do passado<sup>2</sup>. A previsão é que se o mundo continuar nesse ritmo poderá ter um aumento de 2 a 6 graus célsius no próximo século, algo que demorava cerca de 5 mil anos para acontecer.

O aumento da temperatura causa efeitos em vários aspectos do planeta, tendo consequências muito prejudiciais à humanidade, como maiores períodos de seca, aumento no número e intensidade de furacões, e derretimento das geleiras. O setor da construção civil contribui com aproximadamente 40% de todas as emissões de CO<sub>2</sub> mundiais, sendo o principal contribuinte para o aquecimento global<sup>3</sup>. É necessária uma mudança imediata na emissão de dióxido de carbono na atmosfera, a fim de manter a saúde do planeta intacta.

---

<sup>1</sup> Herring, D., & Lindsey, R. (2020, October 29). Hasn't Earth warmed and cooled naturally throughout history?: NOAA Climate.gov. Acessado em 20 de Março, 2021, de <https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/hasnt-earth-warmed-and-cooled-naturally-throughout-history>

<sup>2</sup> NASA Earth Observatory. (n.d.). Global Warming. Acessado em 24 de Março, 2021, de <https://earthobservatory.nasa.gov/features/GlobalWarming/page3.php>

<sup>3</sup> Why The Building Sector? (n.d.). Acessado em 07 de Abril, 2021, de [https://architecture2030.org/buildings\\_problem\\_why/](https://architecture2030.org/buildings_problem_why/)

## 2.3 Poluição da Construção Civil:

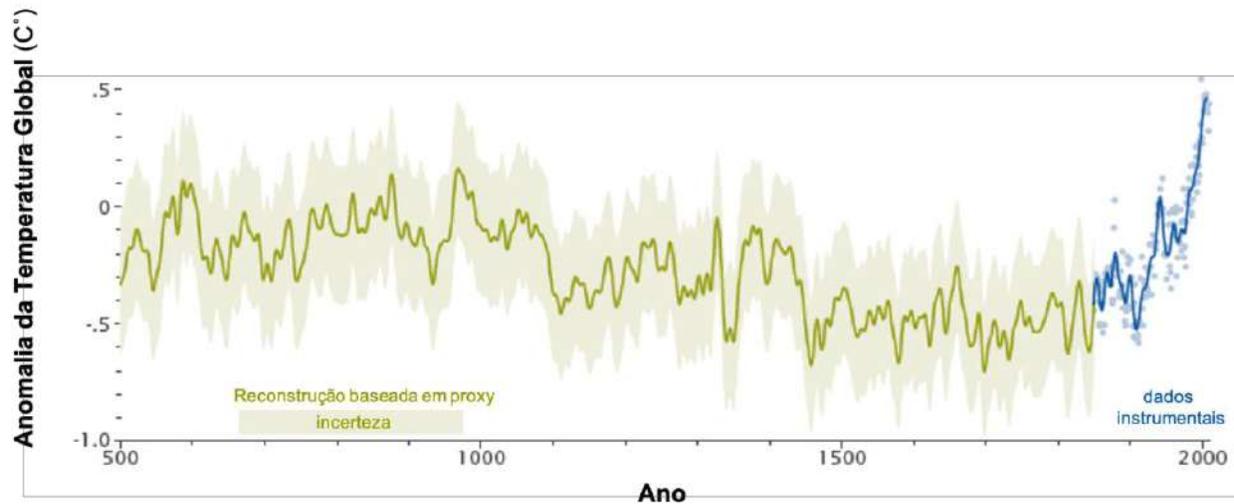


Imagem 2: O gráfico mostra o histórico da mudança de temperatura do planeta baseada nos dados paleoclimáticos (verde) e os dados recolhidos por instrumentos modernos (azul), sugerindo que a temperatura global atual é a mais alta da história. (fonte: Mann et al., 2008.)

A arquitetura do último século utilizava principalmente dois materiais construtivos: betão e aço. Esses materiais definiram a arquitetura do século XX, sendo usados pelos principais arquitetos daquela geração, como Le Corbusier e Mies Van Der Rohe. A utilização dessas novas tecnologias permitiu a arquitetura projetar e executar edificações que previamente eram inviáveis, com estruturas mais delgadas e vãos maiores. Um marco dessa era foi o edifício Rue Franklin Apartments do arquiteto Auguste Perret, de 1902, que começou a explorar a capacidade dos novos materiais. A partir dessa edificação, o uso do betão armado foi adotado por diversos arquitetos, e seu uso só aumentou, e até hoje é um material protagonista na arquitetura contemporânea, podendo ser visto nas obras de Tadao Ando, David Chipperfield e Eduardo Souto de Moura.

O uso desenfreado do betão e do aço acabou por ter uma influência muito forte na saúde do nosso planeta, sendo uns dos principais causadores do aumento da quantidade de dióxido de carbono na atmosfera. Levando em consideração todo o processo de fabricação, o betão é

responsável por 4 a 8% de toda a emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera<sup>4</sup>. Já o aço representa 3% das emissões de gases poluentes. Esses dois materiais juntos chegam a produzir cerca de 11% de toda a poluição atmosférica, um número muito elevado<sup>5</sup>.

Não é somente na atmosfera que esses materiais são prejudiciais, eles também possuem uma necessidade elevada de energia para sua produção, assim como utilização de água. O Conselho Canadense da Madeira (2004), realizou um estudo comparativo da poluição gerada entre madeira, betão e aço, chegando a tais conclusões: *“Os projetos de aço e betão incorporam 26% e 57% mais energia em relação ao projeto de madeira, emitem 34% e 81% mais gases de efeito estufa, liberam 24% e 47% mais poluentes no ar, descarregam 400% e 350% mais poluição da água, produzem 8% e 23% mais resíduos sólidos e usam 11% e 81% mais recursos (de uma perspectiva de uso de recursos ponderados).”*<sup>6</sup>.

Uma característica importante da madeira é a sua capacidade de captação, ou de “sequestro”, de dióxido de carbono da atmosfera. Um metro cúbico de madeira consegue absorver aproximadamente 1.1 toneladas de CO<sub>2</sub> da atmosfera, o equivalente a 350 litros de gasolina<sup>7</sup>. Ao construir em madeira e replantar a árvore que foi derrubada, estamos criando cada vez mais madeira, que por sua vez vai sequestrando a poluição atmosférica, porque mesmo a madeira que for usada na construção continua guardando o dióxido de carbono. As árvores que queimam ou morrem acabam por devolver o CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

---

<sup>4</sup> Lehne, J., & Preston, F. (2018). *Making Concrete Change Innovation in Low-carbon Cement and Concrete*(Chatham House Report). Acessado em 07 de Abril, 2021, de <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/2018-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston-final.pdf>

<sup>5</sup> Carlisle, S. (2020, January 03). I’ve been polluting the planet for years. I’m not an oil exec—I’m an architect. *Fast Company*. Acessado em 02 de Abril, 2021, de <https://www.fastcompany.com/90435650/these-are-the-last-years-of-design-as-we-know-it>

<sup>6</sup> Canadian Wood Council. (2004). *Energy and the Environment in Residential Construction*(Vol. No 1, Sustainable Building Series).

<sup>7</sup> Smedley, T. (2019, July 25). Could wooden buildings be a solution to climate change? Acessado em 13 de Abril, 2021, de <https://www.bbc.com/future/article/20190717-climate-change-wooden-architecture-concrete-global-warming>

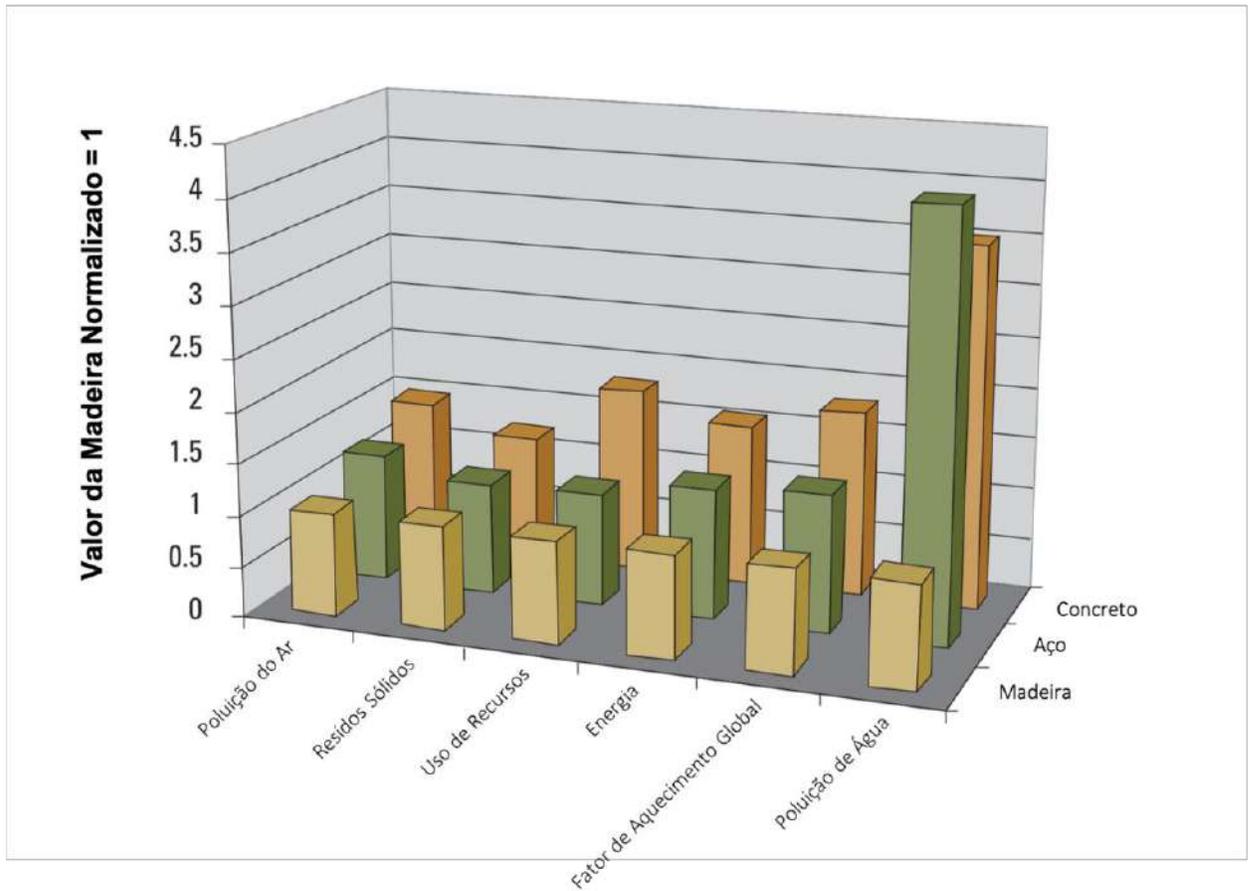


Imagem 3: O gráfico demonstra a diferença do impacto ambiental entre projetos em madeira, aço e betão. Para melhor compreensão dos dados, todos os valores da madeira foram normalizados para 1. (fonte: Canadian Wood Council)

#### 2.4 A Madeira Como Método Construtivo:

Por se tratar de um material produzido pela natureza, e não através de um processo industrializado, nenhuma peça de madeira é igual à outra. As características e o desempenho da madeira estão ligados a espécie e a orientação da fibra. É necessário levar em consideração esses fatores a fim de produzir e utilizar uma peça que responda as questões do projeto. Para um desempenho ideal é preciso manter as estruturas de madeira protegidas das intempéries, em local ventilado, assim não sofrendo com a humidade, que causa alterações na madeira (inchaço e encolhimento).

A madeira surge como o material construtivo ideal, sendo um recurso natural e gerado pelo sol, sendo sempre possível repor esse material na natureza. Uma das principais características da

madeira é possuir um excelente desempenho estrutural com um baixo peso próprio, podendo ser utilizada em diversas partes da edificação. As estruturas de madeira podem ser desmontadas e reutilizadas em outras edificações e funções. Devido a essas características, a madeira foi utilizada por diversas civilizações através da história.

Um dos principais exemplos da construção em madeira é o templo Horyu -Ji, no Japão. Inaugurado em 603, a edificação de 5 pisos é considerada uma das mais antigas de madeira do mundo<sup>8</sup>. Apesar das técnicas construtivas ainda serem rudimentares, já é possível perceber as possibilidades da madeira na construção civil.



Imagem 4: Templo Budista em Horyu-Ji, Japão, considerado uma das edificações sobreviventes de madeira mais antigas do mundo. (fonte: Japan Guide)

Dos anos 600 até o dia de hoje, a tecnologia da construção em madeira foi evoluindo, principalmente a partir do século XX, com a produção da madeira engenheirada. Apesar de todos os avanços tecnológicos, o uso da madeira na construção civil diminuiu de forma considerável no século passado, muito devido ao aumento do uso de betão e do aço. Outro fator que contribuiu para esse fenômeno foi a industrialização, que permitiu a produção em massa desses materiais.

---

<sup>8</sup> Centre, U. W. (n.d.). Buddhist Monuments in the Horyu-ji Area. Acessado em 15 de Abril, 2021, de <http://whc.unesco.org/en/list/660>

Antigamente a materialidade e o método construtivo estavam muito ligados a localização geográfica da obra, sempre utilizando os materiais presentes na envolvente. Com o crescimento da indústria e o aumento do transporte, se tornou possível a construção em qualquer materialidade, independente do local.

## **2.5 A Madeira Lamelada Colada:**

A madeira engenheirada surgiu no início do século XX, na Alemanha. Em 1901, o marceneiro alemão Otto Karl Freidrich Hetzer aplicou para obter uma patente sobre um novo tipo de material, a Madeira Lamelada Colada, ou MLC<sup>9</sup>. A sua invenção consiste em tábuas(lamelas) paralelas coladas com um adesivo estrutural, assim permitindo a construção de peças de grande dimensão e excelente desempenho estrutural. Anos depois Otto também iria patentear a Madeira Lamelada Colada em curva. Essa tecnologia, utilizada principalmente na produção de pilares e vigas, iria se espalhar rapidamente pela Europa e pelo mundo, chegando aos Estados Unidos em 1923, e estando presente em edificações marcantes como o Corredor Ferroviário da Alemanha na Exposição Mundial de 1910 em Bruxelas, que foi a primeira grande obra realizada em Madeira Lamelada Colada<sup>10</sup>.

A Madeira Lamelada Colada permite a construção de peças estruturais de tamanhos variados, independente do tamanho do crescimento da árvore. O uso da madeira também é otimizado a fim de utilizar até as peças de menor qualidade. A espécie da madeira varia dependendo do local da obra, por exemplo, no Brasil é utilizada a madeira de Eucalipto, já nos países nórdicos é utilizado o Abeto. Uma peça de Madeira Lamelada Colada possui um desempenho estrutural superior à uma peça de madeira maciça, além de ser mais leve e mais sustentável, e possuir uma maior versatilidade de dimensões e curvatura.

Ano após ano o uso da madeira engenheirada na arquitetura tem aumentado, assim como a sua evolução tecnológica. A criação de certificações de sustentabilidade, aumento da poluição

---

<sup>9</sup> Eben Lehman on October 15, 2. (2018, October 30). October 15, 1934: Glued Laminated Timber Comes to America. Acessado em 10 de Março, 2021, de <https://foresthistor.org/october-15-1934-glued-laminated-timber-comes-to-america/>

<sup>10</sup> History. (n.d.). Acessado em 07 de Janeiro, 2021, de <https://www.huettemann-holz.de/index.php/en/glulam/history>

e da população do planeta são incentivos para a utilização desse material nas construções. Hoje a edificação mais alta em estrutura de madeira engenheirada, localizada na Noruega, já alcança os 85.40 metros de altura<sup>11</sup>, tendo 18 pisos, porém já existe proposta de uma edificação de 350 metros de altura no Japão<sup>12</sup>, algo até então inimaginável antes da criação da madeira engenheirada. Atualmente a Madeira Lamelada Colada já apresenta características que a qualificam para ser o principal material construtivo do futuro, sendo capaz de alcançar desempenhos similares e até superior em relação aos materiais utilizados nos dias de hoje.



Imagem 5: Viga em Madeira Lamelada Colada (MLC).

---

<sup>11</sup> Block, I. (2019, March 19). Mjøstårnet in Norway becomes world's tallest timber tower. Acessado em 12 de Fevereiro, 2021, de <https://www.dezeen.com/2019/03/19/mjostarne-worlds-tallest-timber-tower-voll-arkitekter-norway/>

<sup>12</sup> Ravenscroft, T. (2018, March 06). World's tallest timber tower proposed for Tokyo. Acessado em 12 de Fevereiro, 2021, de <https://www.dezeen.com/2018/02/19/sumitomo-forestry-w350-worlds-tallest-wooden-skyscraper-conceptual-architecture-tokyo-japan/>

## 2.6 Outros Produtos de Madeira Engenheirada:

Outro produto de madeira engenheirada surgiu nos anos 70 nos Estados Unidos, criada pelo cientista Dr. Peter Koch em parceria com laboratório de pesquisa do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA)<sup>13</sup>. O novo produto, chamado de Painéis de Lâminas Paralelas (PLP) ou Laminated Veneer Lumber (LVL), pode ser utilizado em pisos, paredes e vigas, e é produzido através da colagem de várias lâminas de madeira com 3 milímetros de espessura coladas no mesmo sentido.



Imagem 6: Elemento em Painéis de Lâminas Paralelas.

A Madeira Lamelada Cruzada (CLT) é uma invenção mais recente, tendo surgido em meados de 1990 na Áustria<sup>14</sup>. Através da colagem camadas de lamelas de madeira perpendiculares umas as outras foi possível a criação de um produto complementar à MLC. A CLT permite a concepção de planos de madeira, como lajes e paredes, surgindo como uma opção mais sustentável ao betão. Essas estruturas maciças de madeira também possui um desempenho muito bom no aspecto acústico e térmico, o que causou, juntamente com o movimento da arquitetura sustentável, o crescimento da utilização da madeira em construções no século XXI.

---

<sup>13</sup> Finnish Woodworking Industries. (2019). *LVL Handbook Europe*. Acessado em 02 de Maio, 2021, de <https://proofer.faktor.fi/epaper/LVLHandbook/index.html#4>

<sup>14</sup> Karacabeyli, E., & Douglas, B. (2013). *CLT handbook: Cross-laminated timber*. Pointe-Claire, Québec: FPIInnovations.



Imagem 7: Exemplo de uma laje em Madeira Lamelada Cruzada.

## **2.7 Processo de Fabricação da Madeira Lamelada Colada:**

O processo de fabricação da Madeira Lamelada Colada, por se tratar de um material natural, é longo e complexo. O seu uso e produção devem ser regularizados, a fim de preservar o meio ambiente. A madeira engenheirada é um produto pré-fabricado, que passa por diversas etapas de produção afim de chegar na obra pronta.

O primeiro passo é a escolha da espécie da madeira, que possua as características desejadas para o projeto. Normalmente a espécie já é clonada e modificada geneticamente a fim de alcançar o desempenho ideal. As sementes são cultivadas em uma estufa, com o ambiente controlado, até se tornarem mudas, que são gradualmente expostas as condições naturais. O próximo passo é o replantio na floresta, onde somente depois de 5 anos é possível discernir os espécimes que se adaptaram a natureza e irão se desenvolver, e as mudas que não cresceram e serão trocadas<sup>15</sup>. Entre 10 e 12 anos após o plantio é quando a árvore é cortada, com aproximadamente 15 metros de altura (se tratando de um eucalipto). Logo após o corte da árvore, a casca já é retirada, deixando o tronco pronto para o transporte para a serraria.

Quando os troncos chegam na serraria eles passam por um escâner, que baseado no formato, peso, tamanho e curvatura, calcula qual o jeito ideal de cortá-los. Os troncos se tornam tábuas

---

<sup>15</sup> MAPA Inst. (n.d.). Ways of Prefab-ing [Editorial]. *Inst-Inst-Inst*. Acessado em 20 de Janeiro, 2021, de <https://inst-inst-inst.org>

retangulares, ou lamelas. A tábua é novamente passada através de um escâner, que detectada suas imperfeições, que serão removidas. Quando as lamelas estiverem prontas e sem defeitos, elas passam por uma máquina que corta suas pontas, produzindo os *fingerjoints*, onde ela será conectada com outra lamela. Os *fingerjoints* são ranhuras, que aumentam a superfície da ligação entre as tábuas, possibilitando uma aplicação de adesivo com maior estabilidade. Essas grandes tábuas são empilhadas na mesma direção, e as várias camadas sobrepostas são unidas através do uso de um adesivo estrutural. A peça colada é colada em um vácuo para manter a pressão uniforme em todas as superfícies, durante o período de secagem. Quando já estiver seca, a peça já está pronta para o transporte.

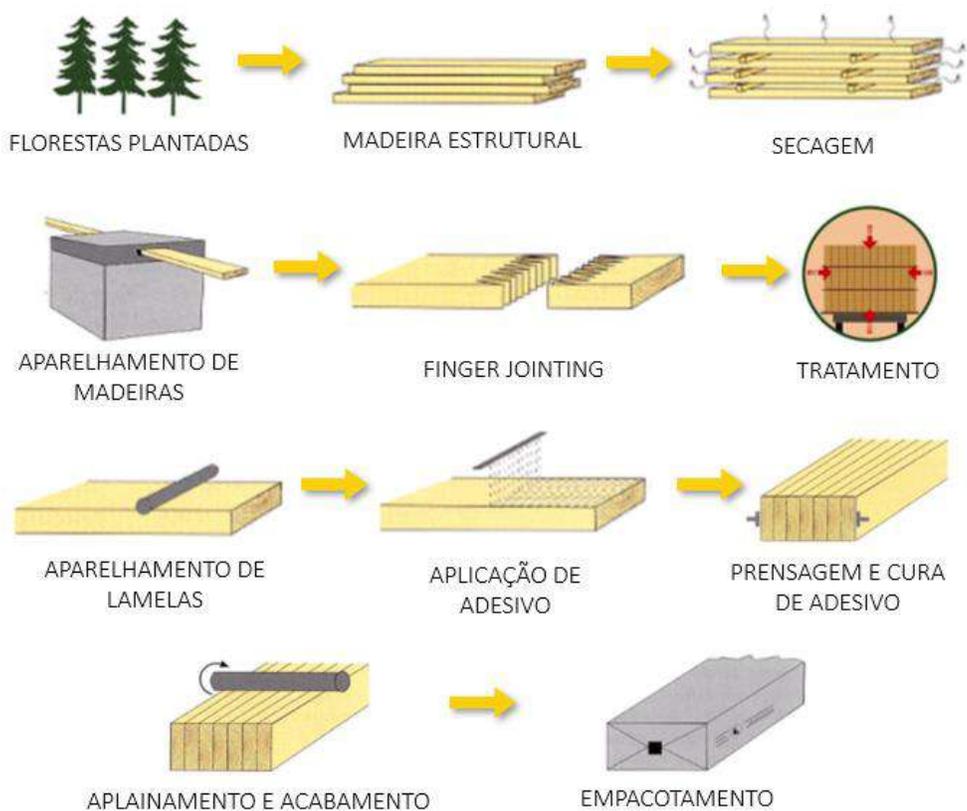


Imagem 8: Processo de produção da MLC desde a colheita da madeira até o envio para a obra. (fonte: Madeira Engenheirada)

## 2.8 Referências Arquitetônicas

Os projetos de referência que serão abordados no trabalho são exemplos de edificações de grande escala que optaram por utilizar um sistema estrutural de madeira engenheirada. Apesar das três obras serem recentes, entre 2010 e 2017, elas exemplificam diferentes abordagens no uso da Madeira Lamelada Colada. Foram selecionadas obras de arquitetos renomados, de diferentes nacionalidades, com diferentes programas e situadas em partes distintas do globo a fim de mostrar a capacidade de adaptação das estruturas em madeira engenheirada.

### Centro Equestre – Carlos Castanheira



Imagem 9: Centro Equestre projetado por Carlos Castanheira. (fonte: Carlos Castanheira; crédito: Fernando Guerra)

O arquiteto português Carlos Castanheira projetou o Centro Equestre em Matosinhos, foi projetado utilizando a madeira em toda a sua construção, a pedido do cliente, não somente na estrutura, mas também nas divisórias, paredes e tetos<sup>16</sup>. O programa da edificação exige espaços com grandes vãos, algo em que o arquiteto ainda não havia trabalhado com estruturas em

---

<sup>16</sup> Equestrian Center. Acessado em 07 de Abril, 2021, de <https://www.carloscastanheira.pt/project/equestrian-center/>

Madeira Lamelada Colada. O projeto tem uma área construída de 4.600m<sup>2</sup>, distribuídos em 5 volumes, cada um com uma função diferente. O Centro Equestre recebeu a 1ª menção honrosa no Prêmio Nacional de Arquitetura em Madeira (PNAM) na edição de 2015<sup>17</sup>.

### Centre Pompidou – Metz - Arquiteto Shigeru Ban



Imagem 10: Museu Centre Pompidou em Metz do arquiteto Shigeru Ban. (fonte: Archdaily; crédito: Didier Boy De La Tour)

Com 11.330m<sup>2</sup>, o Centre Pompidou foi inaugurado em 2010 na cidade de Metz na França. O arquiteto projetou esse museu que abriga parte da coleção que não é exposta no Centre Pompidou em Paris. Um dos aspectos levados em consideração na concepção da edificação foi o “efeito Bilbao”, onde se constrói uma edificação escultural de grande qualidade em uma cidade

---

<sup>17</sup> Prêmio Nacional de Arquitetura em Madeira'15. (2021, March 30). Acessado em 15 de Maio, 2021, de <https://pnam.pt/edicoes-premio/pnam-15/>

desconhecida a fim de incentivar a vinda de turistas<sup>18</sup>. A edificação é organizada a partir de três volumes retangulares empilhados, que enquadram diferentes vistas da cidade, assim como um volume cilíndrico e um quadrado. As formas geométricas são abrigadas por uma cobertura em malha hexagonal de vigas de madeira lamelada, que cai como um véu sobre o museu.

### **Museu Ponte de Madeira Yusuhara – Arquiteto Kengo Kuma**



Imagem 11: Museu Ponte de Madeira Yusuhara do arquiteto Kengo Kuma. (fonte: Archdaily; crédito: Takumi Ota Photography)

Construído em 2011 pelo arquiteto japonês Kengo Kuma, o Museu Ponte de Madeira Yusuhara está localizado na cidade de Yusuhara, na ilha de Shikoku no Japão. A cidade possui grandes florestas, o que incentivou Kengo Kuma a construir em madeira, pois uma das principais características de sua arquitetura é a utilização do material local. O projeto de 14.736m<sup>2</sup> surge

---

<sup>18</sup> Aguilar, C. (2020, January 25). Centre Pompidou-Metz / Shigeru Ban Architects. Acessado em 02 de Maio, 2021, de <https://www.archdaily.com/490141/centre-pompidou-metz-shigeru-ban-architects>

da necessidade de uma ligação entre duas edificações públicas pré-existentes, um hotel e um spa, que se encontram separados por uma rodovia e por uma grande diferença de cotas. O museu surge então como um elo entre esses dois elementos, na figura de uma ponte. Inspirado pela Ponte dos macacos (Ponte Saruhashi) ele projetou a estrutura com pequenas peças de madeira em balanço, a fim de incorporar a tradição japonesa de carpintaria e possibilitar a criação de tais peças em indústrias locais<sup>19</sup>.

---

<sup>19</sup> Kuma, K., & Obuchi, Y. (n.d.). *Four Facets of Contemporary Japanese Architecture: Technology*. Aula apresentada na University of Tokyo. Acessado em 28 de Abril, 2021, de <https://learning.edx.org/course/course-v1:UTokyoX UTokyo005x 3T2016/block-v1:UTokyoX UTokyo005x 3T2016 type@sequential block@2c96a86761c149df857058f28670014e/block-v1:UTokyoX UTokyo005x 3T2016 type@vertical block@668962643d6a4369bac2dd2ffe6e4753>

# III. ANÁLISE DAS REFERÊNCIAS

## 3.1 Centro Equestre

Arquiteto: Carlos Castanheira

Área: 4.600 m<sup>2</sup>

Construção: 2012-2017

Programa: Esportivo

Localização: Matosinhos, Portugal

**Projeto:**

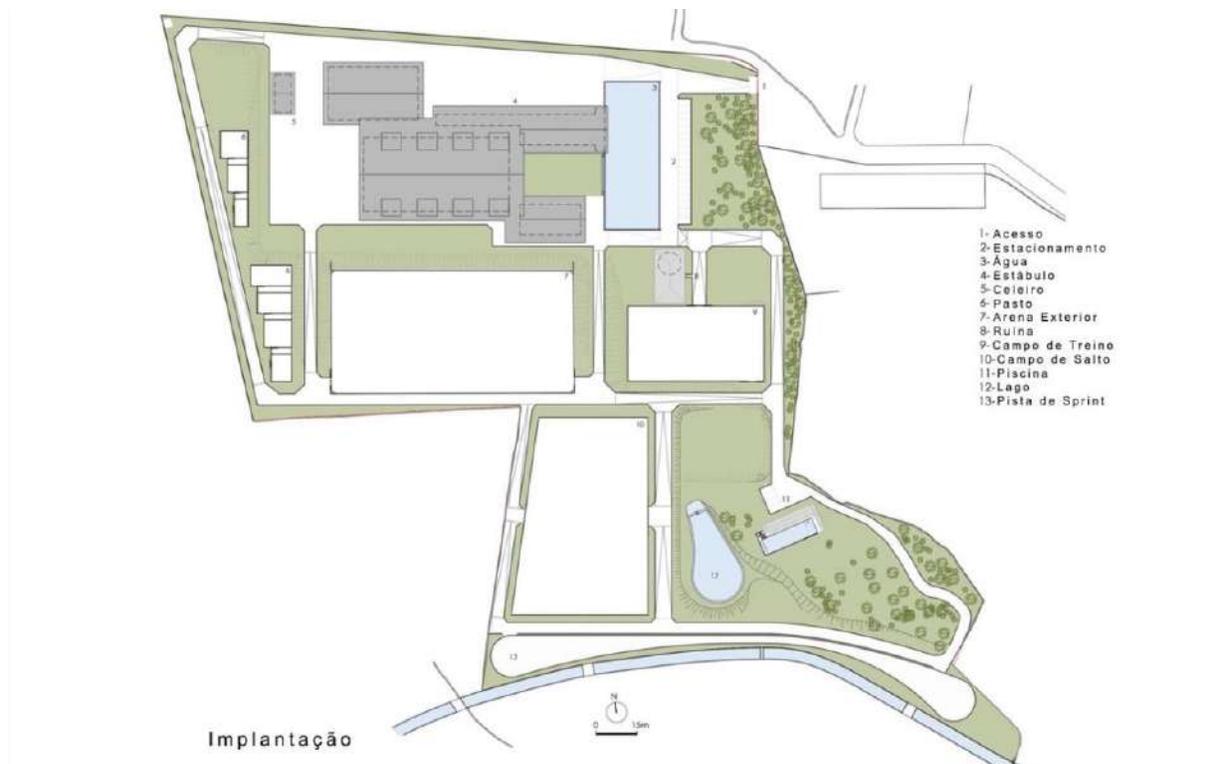


Imagem 12: Planta de Implantação do Centro Equestre. (fonte: Carlos Castanheira)

O Centro Equestre é um complexo esportivo composto por um estábulo, um celeiro, um volume social, um restaurante e dois picadeiros cobertos. O programa é dividido em vários

volumes retangulares de tamanhos distintos, se enquadrando no contexto local e evitar a construção de um grande volume único que destoaria da envolvente. A partir do acesso já é possível ver o volume principal do projeto, que abriga a maioria dos programas cobertos, conectados por suas respectivas coberturas de duas águas.

O principal volume é composto por quatro volumes de diferentes dimensões e funções, localizados junto à um grande espelho d'água. A edificação com a menor área, com 300 m<sup>2</sup>, abriga a administração do centro equestre, e é a única com dois pisos. Além de dois escritórios, esse volume também abriga um quarto de hóspedes, localizado no mezanino, que complementa uma cozinha, sala de estar e jantar.

No maior volume coberto de todo o projeto é onde está localizada a arena principal, com 1260m<sup>2</sup>, também sendo o mais alto, tendo nove metros de pé direito no cume. Os estábulos, que estão organizados de maneira linear, são conectados à arena principal e à arena de treino possibilitando o treino de cavalos mesmo em dias chuvosos. Junto aos boxes dos cavalos está localizada uma área de apoio, contendo vestiários, WC e sala de descanso.

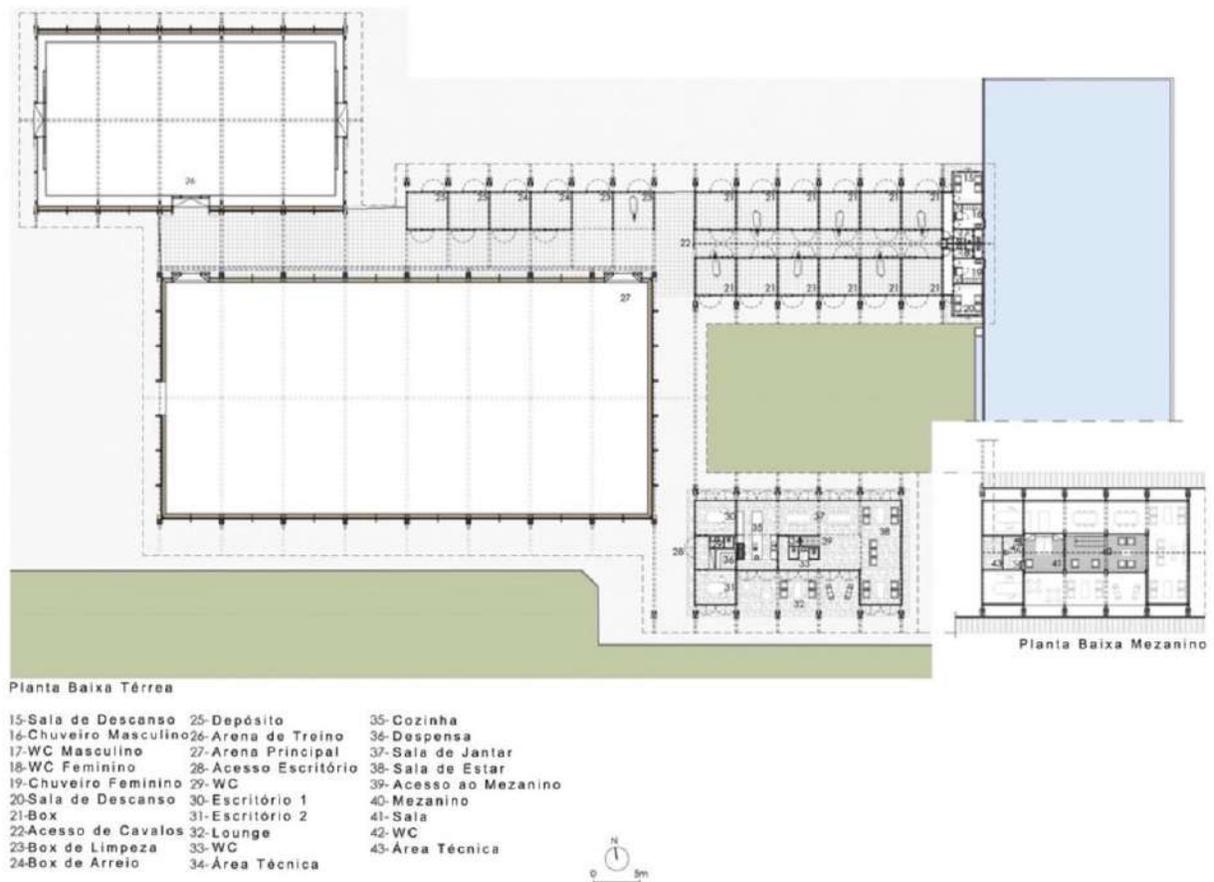


Imagem 13: Planta baixa do térreo do Centro Equestre. (fonte: Carlos Castanheira)

No local da construção existia uma ruína, que está localizada em um volume solto entre o estacionamento e o campo de treino. A ruína, que é composta por uma parede em formato circular de pedra, foi transformada em dois banheiros e uma cafeteria, integrada a um terraço. A cobertura apresenta uma solução diferente dos outros volumes previamente citados, sendo uma cobertura plana.

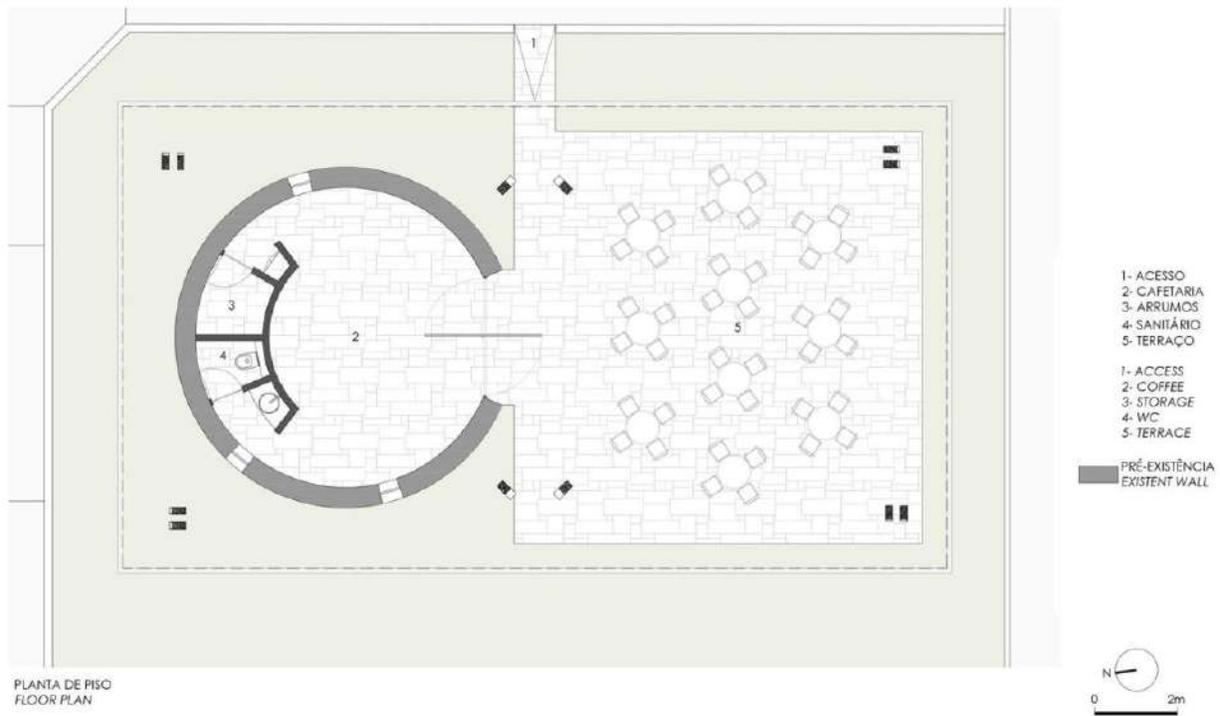


Imagem 14: Planta baixa da cafeteria. (fonte: Carlos Castanheira)

### Estrutura:

A estrutura do Centro Equestre é feita a partir de pilares e vigas de Madeira Lamelada Colada à vista, devido à um pedido do cliente. A MLC também foi usada nos barrotes ligados às vigas que sustentam a cobertura. Os pilares apresentam quatro diferentes variações: pilar único, pilar único em “Y”, pilar composto de três peças em “Y”, e pilar composto de três peças em “X”.



Imagem 15: Exemplos de pilares encontrados no projeto (da esquerda para a direita): pilar único, pilar composto em “X”, pilar simples em “Y”, e pilar composto em “Y”. (fonte: Carlos Castanheira; crédito: Fernando Guerra)

Os pilares de Madeira Lamelada Colada não estão perpendiculares ao solo, e sim à cobertura, criando um ângulo de  $75^\circ$  com o piso. Também estão presentes pilares em um ângulo de  $125^\circ$  em relação ao solo, que estão conectados através de elementos metálicos com os pilares principais. Devido a edificação ser aberta, sem uma divisão entre interior e exterior, a estrutura de pilares de MLC foi projetada apoiada em uma chapa de apoio metálica, que afasta a madeira 25 centímetros do pavimento. A distância entre os pilares compostos no volume da arena principal é de 6 metros, com um pilar único no meio.

A estrutura da cobertura da arena principal é feita através de vigas de 20x60cm apoiadas nos pilares compostos de três peças em “X”, sendo fixadas através de conectores metálicos. As vigas no sentido transversal, que seguem a inclinação da cobertura, se encontram e uma viga de cume de 20x40cm e alcançam um vão livre de 24 metros. No sentido longitudinal, ligando os pilares, estão localizadas vigas de 20x60cm que arrematam os pilares únicos. Entre as vigas principais da estrutura também há madres de 10x32cm no sentido longitudinal e 8x16cm no sentido transversal. As madres estão ligadas à barrotes de 10x10cm através de um parafuso metálico. Entre os barrotes há uma chapa de contraplacado marítimo com 12mm de espessura, que esconde o isolamento térmico.

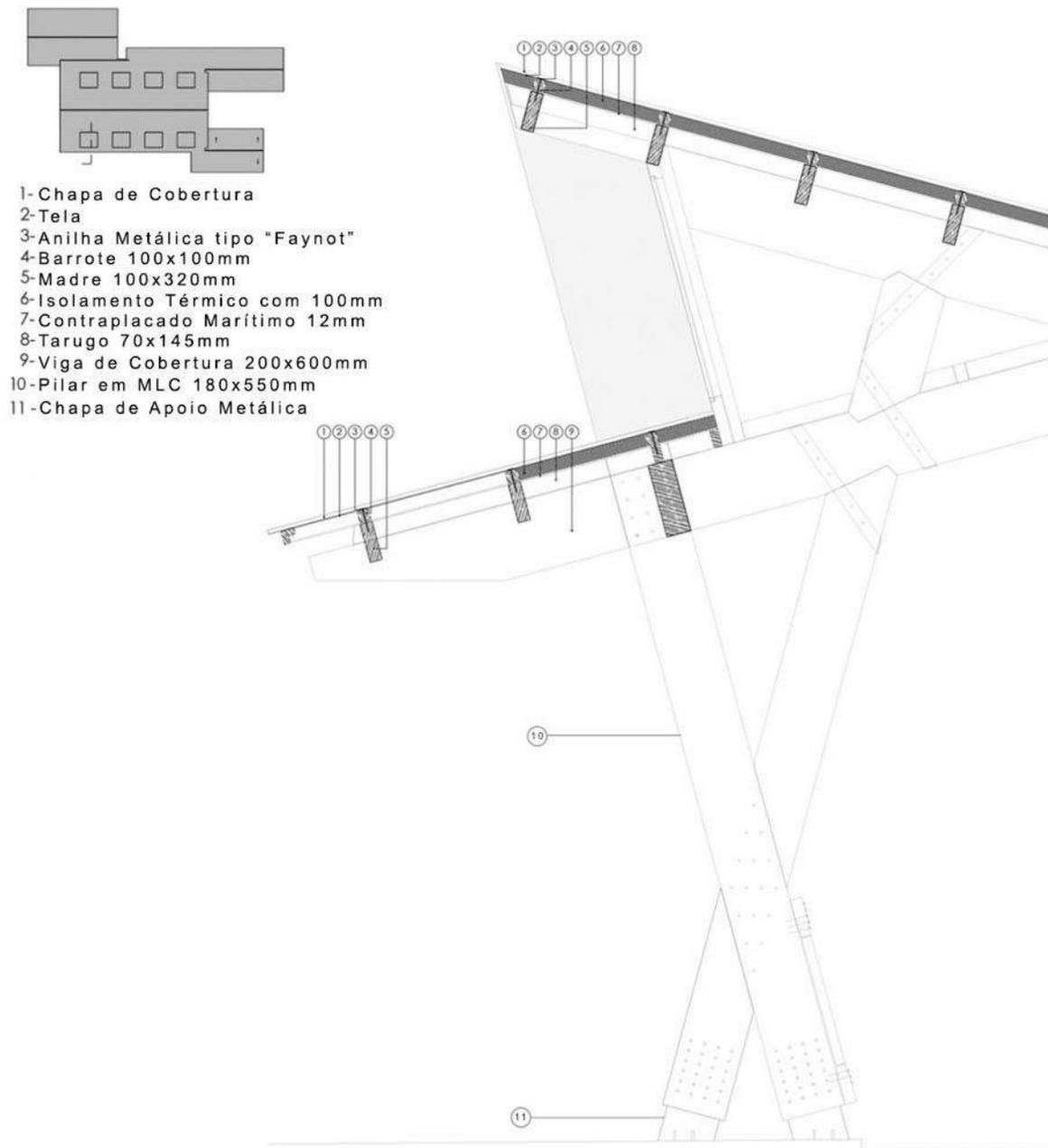


Imagem 16: Corte mostrando o detalhamento construtivo da estrutura em Madeira Lamelada Colada junto à cobertura. (fonte: Carlos Castanheira)

A estrutura da cafeteria é feita através de 6 apoios, independentes da ruína, compostos de quatro pilares compostos de três peças em "Y", e dois únicos em "Y". Os pilares formam dois módulos de 8.48m por 8.48m, um que abriga a ruína e outro abriga a esplanada. As vigas de Madeira Lamelada têm 20x30cm e fazem a ligação dos pilares, também havendo duas vigas nas diagonais dos módulos. Através do uso de barrote de 12x20cm no sentido longitudinal e

transversal, é formada uma malha quadrangular com vão de 108cm. Assim como no volume principal, os pilares se encontram afastados do piso, através do uso de elementos metálicos.

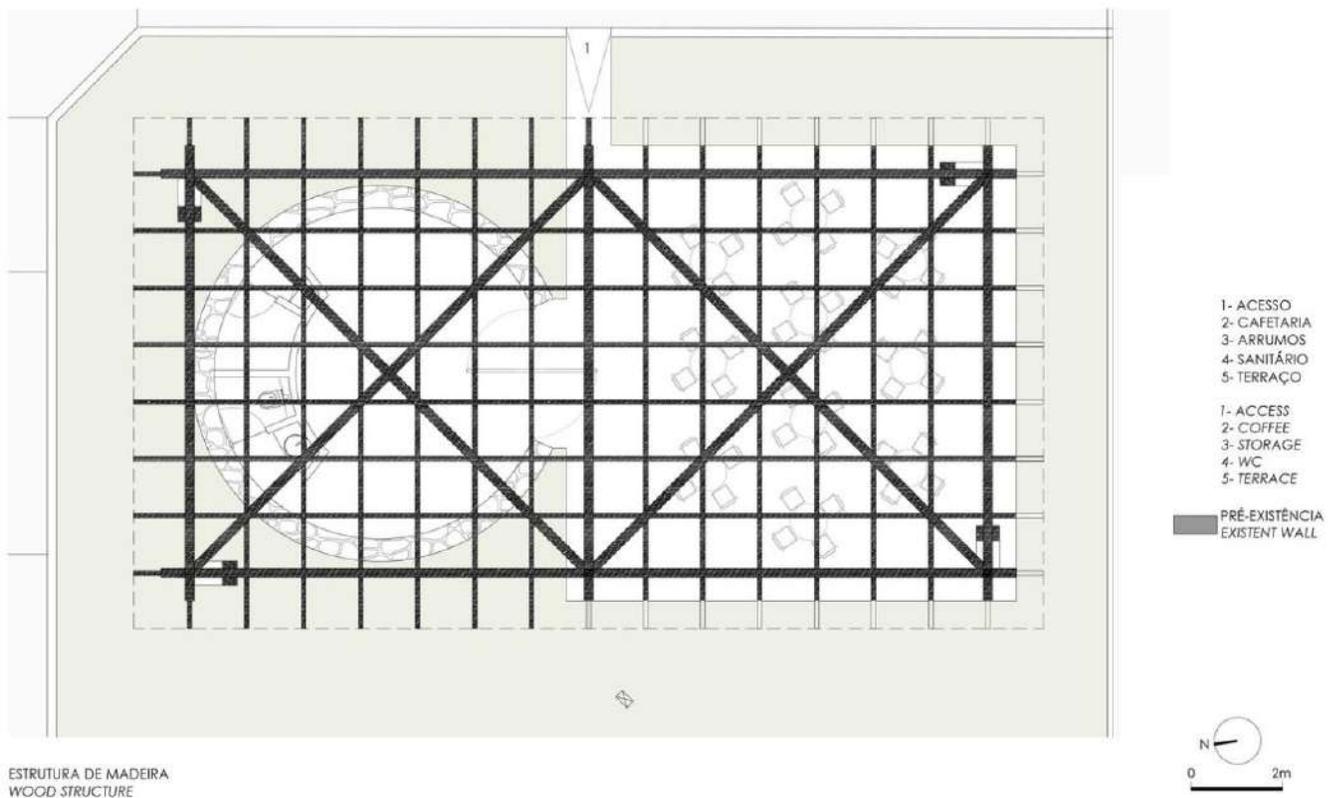


Imagem 17: Planta da estrutura de vigas e barrotes da cafeteria. (fonte: Carlos Castanheira)

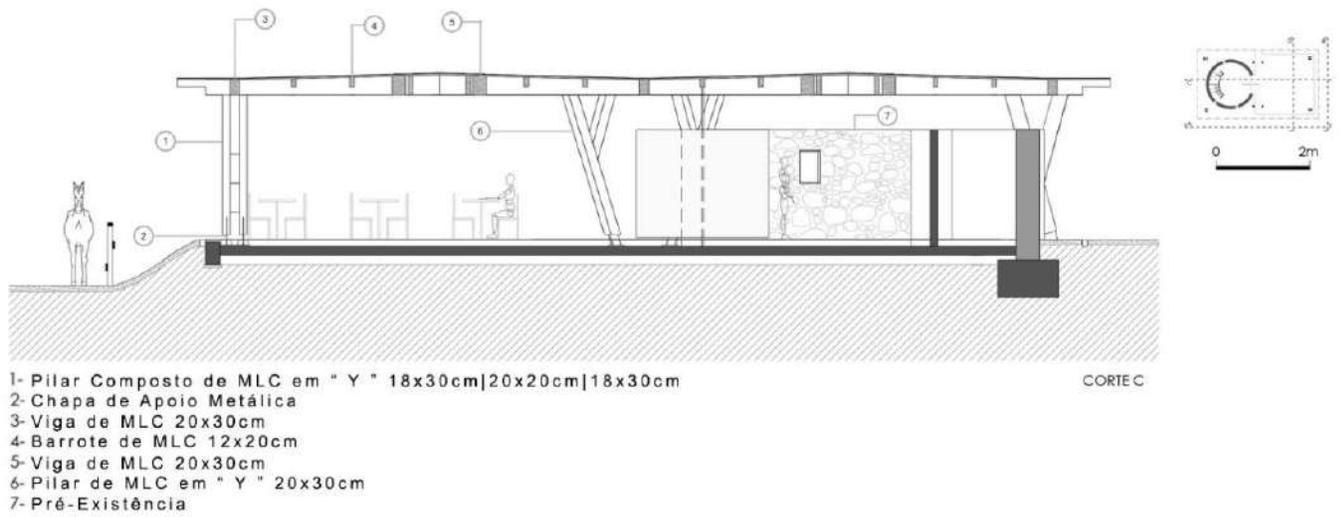


Imagem 18: Corte longitudinal pela cafeteria. (fonte: Carlos Castanheira)

### 3.2 Centre Pompidou Metz

Arquiteto: Shigeru Ban

Área: 11.330 m<sup>2</sup>

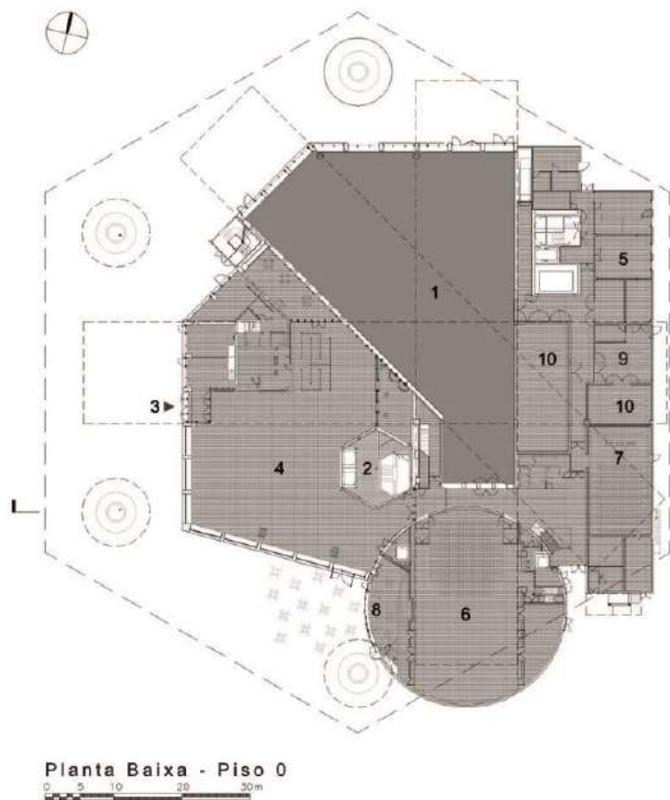
Construção: 2006-2010

Programa: Cultural

Localização: Metz, França

Custo: 68 milhões de Euros

**Projeto:**



1. “Grand Nef” - Grande Nave
2. Torre Hexagonal de Circulação
3. Entrada
4. Foyer
5. Administração
6. Centro Criativo
7. Auditório
8. Café
9. Doca de Carregamento
10. Depósito

Imagem 19: Planta baixa do térreo. (fonte: Shigeru Ban Architects)

O piso térreo do Centre Pompidou-Metz é o piso com a maior área da edificação. A entrada é feita a partir da fachada oeste, sendo marcada pelo “Gallery Tube 1”, o primeiro volume retangular de exposições, localizado no piso acima. Após a entrada há um grande foyer, que tem suas divisórias com o exterior envidraçadas, permitindo criar uma relação visual direta entre interior e exterior, dando continuidade ao espaço coberto exterior. O foyer pode ser totalmente aberto para o exterior, com os caixilhos sendo retráteis para cima. O primeiro piso também abriga um espaço para exposições, chamado de “Grand Nef”, um auditório, um espaço criativo, e um café. A parte de serviço também está situada nesse piso. Um dos principais motivos da construção de um novo Centre Pompidou, que serve de apoio ao que está em Paris, é a limitação da altura do teto na edificação projetada por Renzo Piano e Richard Rogers, que possui apenas 5.5 metros de pé direito. Em Metz, o pé direito mais alto está localizado na Grand Nef, chegando até 18 metros de altura.

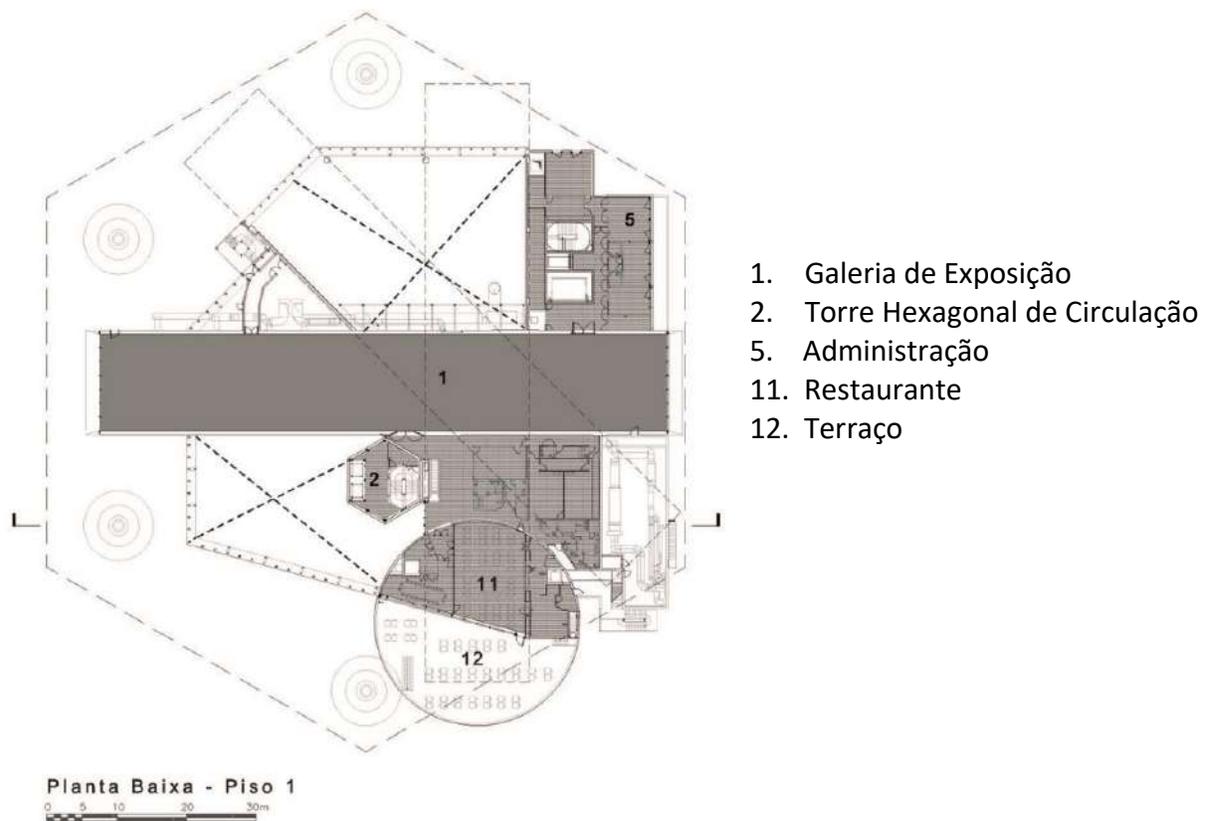


Imagem 20: Planta baixa do primeiro pavimento. (fonte: Shigeru Ban Architects)

O primeiro dos volumes chamados “Gallery Tubes” está localizado no primeiro piso. Esse espaço retangular tem 15 metros de largura por 90 metros de comprimento. O Restaurante está localizado no volume circular na fachada sul da edificação, possuindo um terraço. Em 2015, devido a grande demanda, o restaurante sofreu uma alteração realizada pelo escritório francês Studiolaba, adicionando um volume de vidro no terraço, aumentando a área interna do restaurante.

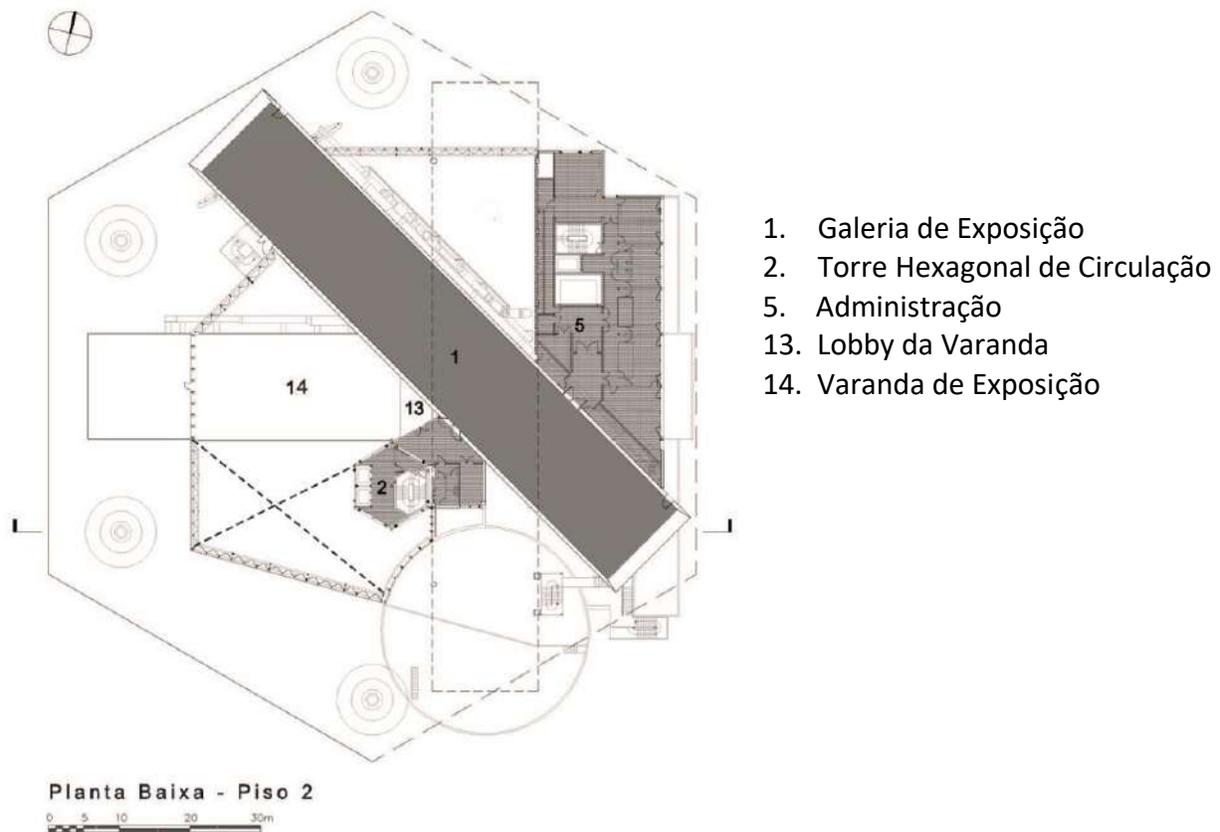


Imagem 21: Planta baixa do segundo pavimento. (fonte: Shigeru Ban Architects)

No segundo piso de galerias surge um novo espaço de exposições de esculturas, localizada na cobertura da galeria do andar inferior. O acesso desse espaço é feito através de um lobby que está junto à entrada do segundo “Gallery Tube”. A galeria de exposição está orientada a fim de enquadrar a estação central de trem, que é uma edificação significativa na cidade.

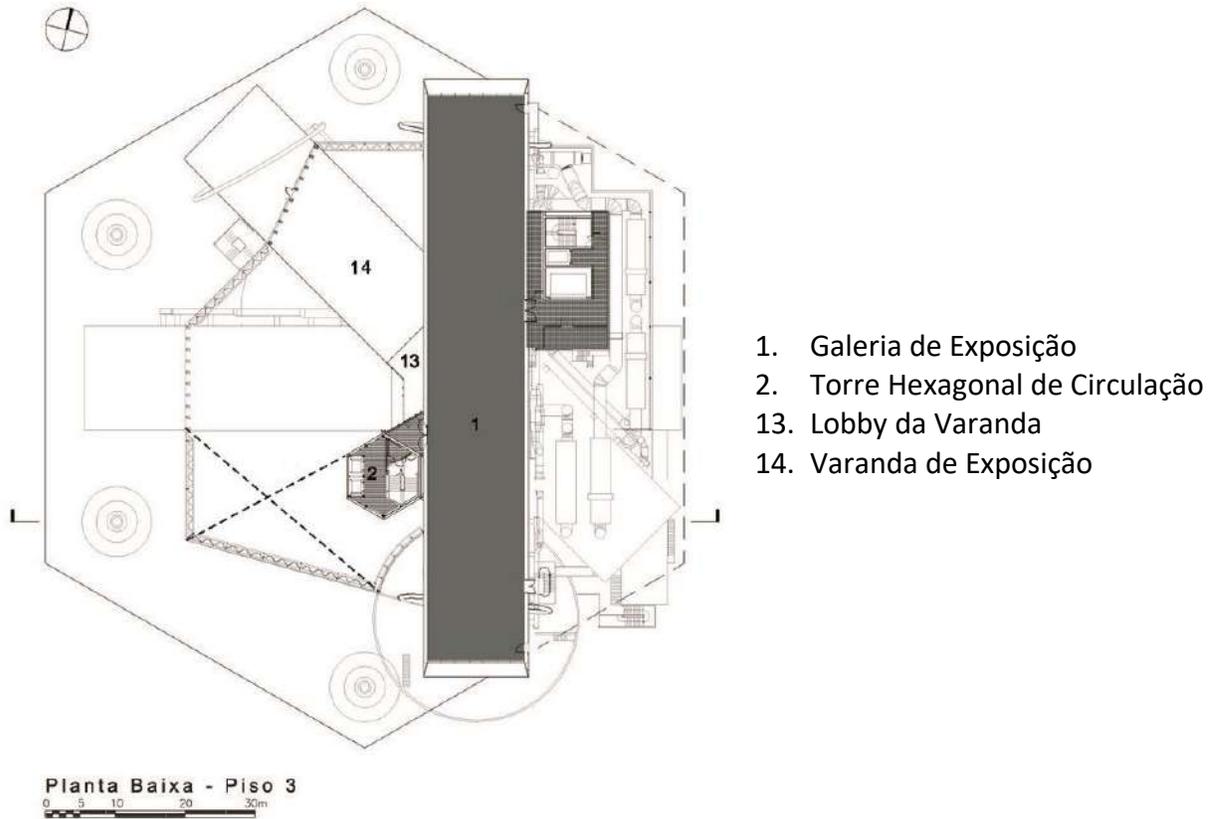
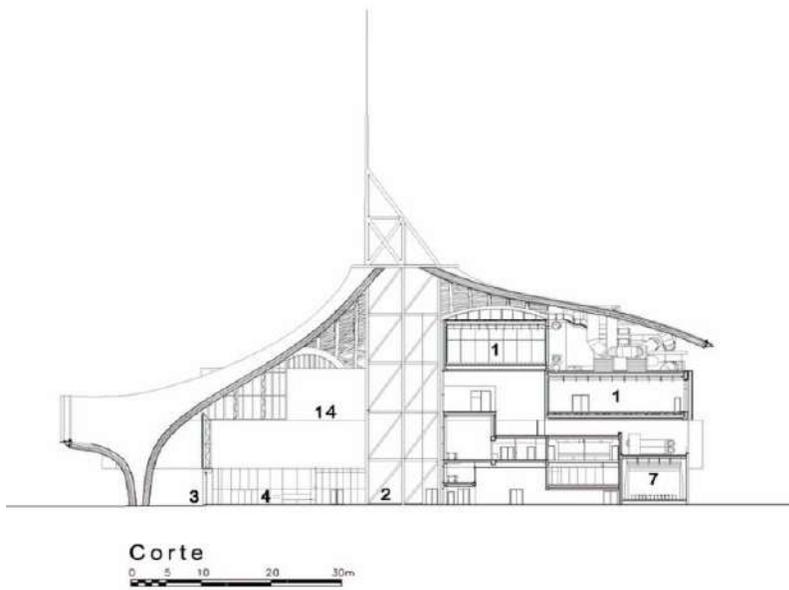


Imagem 22: Planta baixa do terceiro pavimento. (fonte: Shigeru Ban Architects)

No último piso do Centre Pompidou está localizado o último volume retangular de exposição, orientado em direção a Catedral de Metz. Há também um espaço de exposição sobre a galeria do piso inferior, que leva até o exterior da malha da cobertura.



- 1. Galeria de Exposição
- 2. Torre Hexagonal de Circulação
- 3. Entrada
- 4. Foyer
- 7. Auditório
- 14. Varanda de Exposição

Imagem 23: Corte através do hall de entrada. (fonte: Shigeru Ban Architects)

**Estrutura:**



Imagem 24: Construção da estrutura da cobertura do Centre Pompidou. (fonte: Peri)

A principal solução estrutural do projeto do Centre Pompidou em Metz é a cobertura, que surge como um véu cobrindo os volumes da edificação. A cobertura, composta por uma estrutura de madeira lamelada colada tem uma área superficial de aproximadamente 8.500m<sup>2</sup>. A estrutura da edificação tem como principal forma o hexágono, que é uma forma muito ligada a população francesa, devido ao formato geométrico do país. A cobertura hexagonal é composta por seis camadas de vigas, que formam hexágonos e triângulos equiláteros quando se sobrepõem. Segundo o arquiteto, uma malha formada apenas por triângulos iria criar interseções muito complexas de seis elementos, e ao optar por uma malha combinada de triângulos e hexágonos foi possível diminuir para quatro o número de elementos que se sobrepõe <sup>20</sup>.

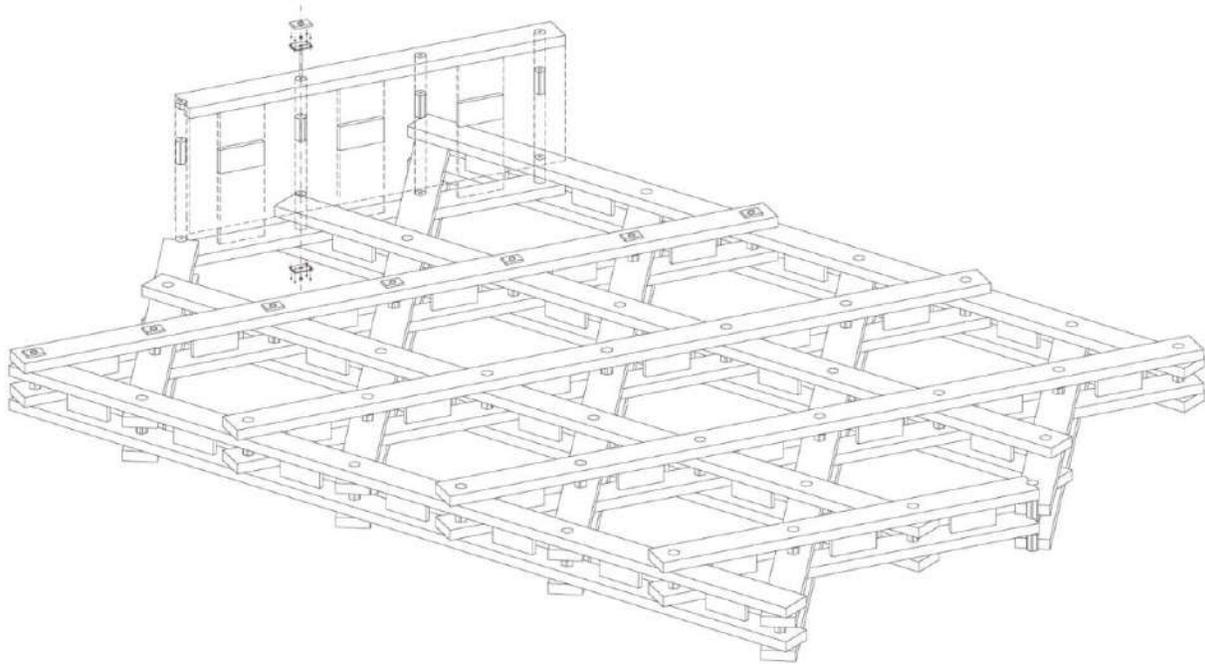


Imagem 25: Desenho isométrico da malha hexagonal formada por seis camadas de MLC. (fonte: Self, R. (2014). *The architecture of art museums: A decade of design: 2000-2010*. New York: Routledge.)

A estrutura da cobertura alcança um vão de 40 metros livres, sendo apoiada em quatro colunas trançadas de madeira lamelada colada. Na fachada leste foi necessário adotar uma solução construtiva diferente, devido a questões de custo de obra, portanto a cobertura de madeira é apoiada em uma viga metálica que transfere a carga para a estrutura em betão da

---

<sup>20</sup> Aguilar, C. (2020, January 25). Centre Pompidou-Metz / Shigeru Ban Architects. Acessado em 02 de Maio, 2021, de <https://www.archdaily.com/490141/centre-pompidou-metz-shigeru-ban-architects>

edificação. As vigas de MLC foram produzidas predominantemente de madeira oriundas da Áustria e da Suíça. Devido à alta complexidade da estrutura cada peça de madeira é única e necessita uma precisão milimétrica na hora da produção. O tempo total de fabricação dessas peças foi de dez meses, sendo produzidas a partir de corte de máquinas de comando numérico computadorizado (CNC).



Imagem 26: Foto de um dos apoios da estrutura da cobertura. (fonte: Centre Pompidou Metz)

O arquiteto Shigeru Ban sempre enfatiza que se deve projetar elementos que só possam ser feitos com madeira, e não a utilizar a madeira como apenas um material substituto. Por isso sempre que possível ele evita a utilização de conectores e elementos metálicos nas suas

construções. As camadas sobrepostas de vigas de madeira lamelada colada são fixadas uma nas outras com conectores hexagonais de madeira. Há também elementos retangulares de madeira que servem de espaçadores entre cada camada. As vigas possuem uma dupla curvatura, o que possibilitou a criação dessa membrana de forma orgânica de madeira que cobre a edificação. As vigas possuem 14 centímetros de largura por 44 centímetros de altura, com toda a estrutura de madeira tendo um comprimento total de mais de 16 quilômetros<sup>21</sup>. O comprimento de cada peça das vigas é em média 14 metros, tendo 1.600 vigas que seguem essa medida.



Imagem 27: Foto do conector hexagonal de madeira que faz a fixação das peças de MLC. (fonte: ADAPT Timber Project)

---

<sup>21</sup> Self, R. (2014). *The architecture of art museums: A decade of design: 2000-2010*. New York: Routledge.

### 3.3 Museu Ponte de Madeira Yusuhara

Arquiteto: Kengo Kuma

Área: 14.736m<sup>2</sup>

Construção: 2009-2011

Programa: Cultural

Localização: Yusuhara, Japão

Custo: 2.5 milhões de Euros

#### Projeto:

O Museu serve como uma ligação entre duas edificações pré-existentes no local em diferentes cotas, um spa e um hotel. A criação de uma ponte de madeira tem como objetivo conectar as duas cotas distintas, além de criar espaços de exposições e workshops. No piso do spa está localizado o elevador, que faz a ligação com a ponte.

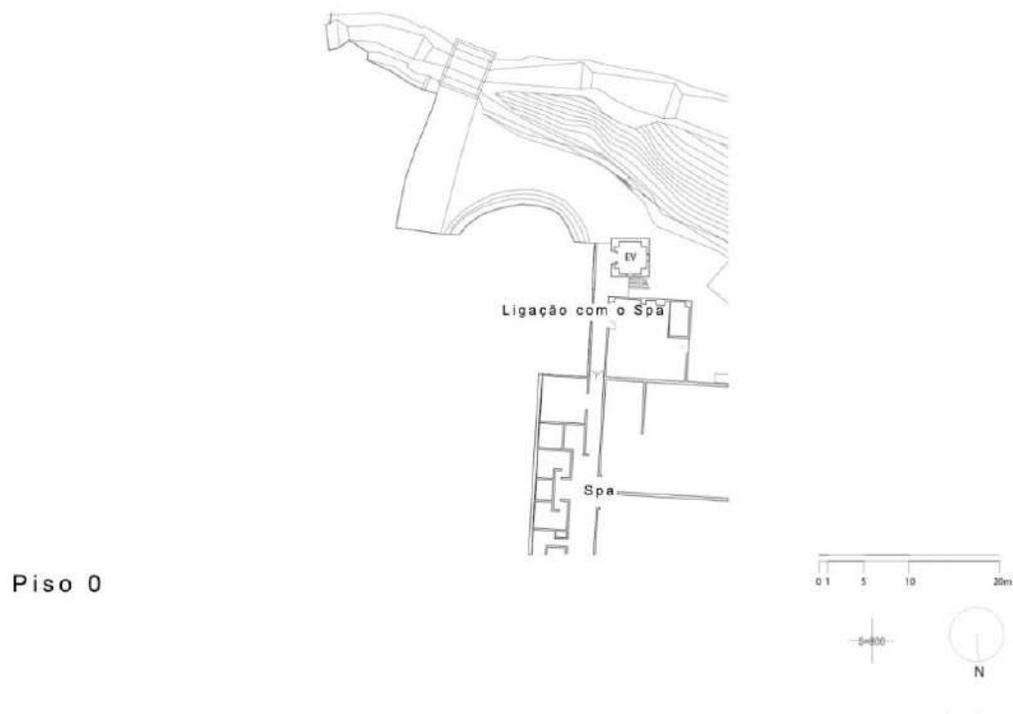
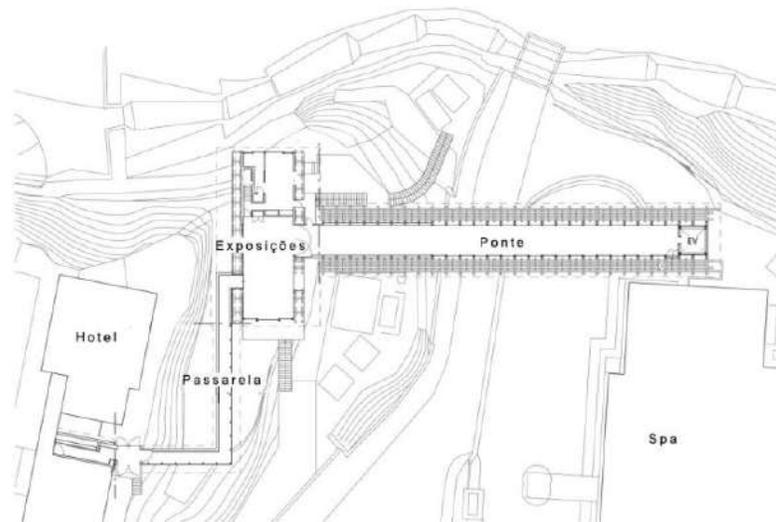


Imagem 28: Planta baixa do piso do Spa. (fonte: KKAA)

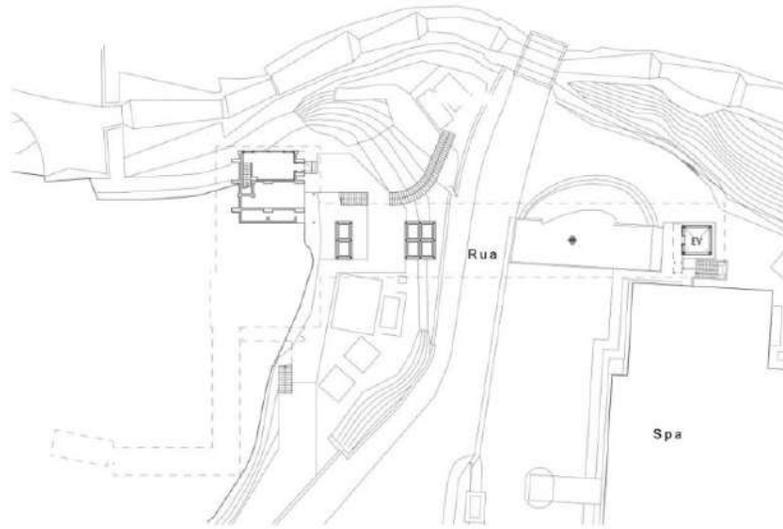
O segundo piso do museu está localizado 13,61 metros acima do piso do spa, e é composto pela ponte e o espaço de exposições. A ponte, além de ser uma conexão entre dois programas, ainda serve como um espaço para eventos e uma área adicional de exposição. A partir do volume de exposições é possível acessar um terraço e uma passarela que conecta ao hotel, que está situado em uma cota ligeiramente mais alta. Junto a sala de exposições existe um pequeno quarto de hóspedes, projetado para hospedar o artista que estiver expondo suas obras no local.



Piso 2

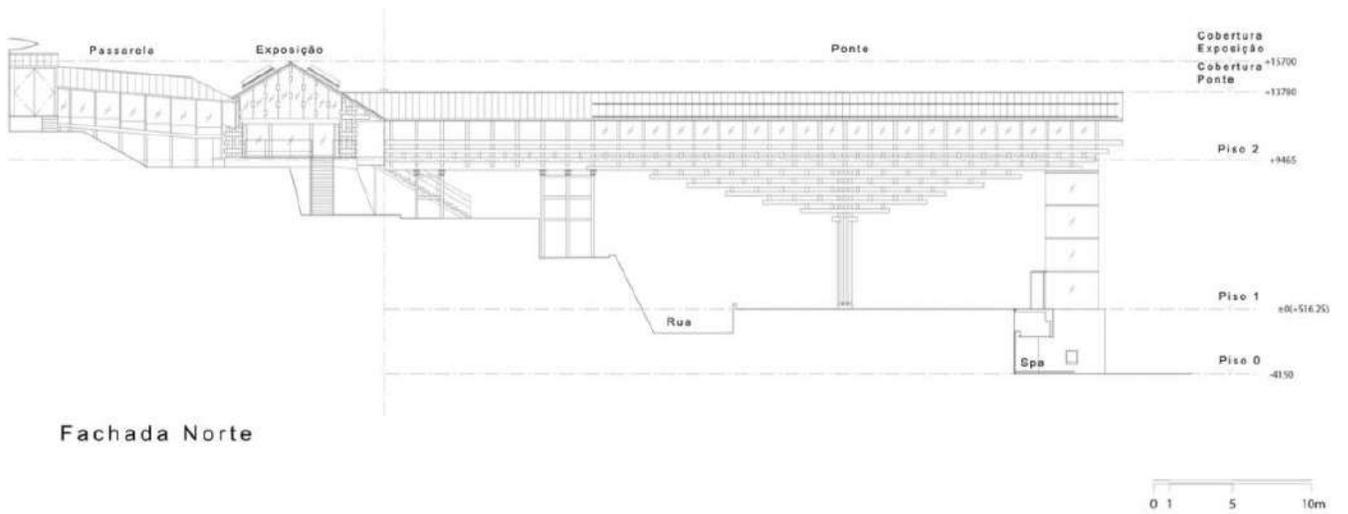
Imagem 29: Planta baixa do piso da ponte e centro de exposições. (fonte: KKAÁ)

Entre os dois pisos da edificação existe uma rua, que passa por de baixo da ponte. A partir do nível da rua é possível acessar o centro de exposições através de uma escadaria, assim como o spa. Há também um pequeno espaço de depósito localizado no piso inferior do centro de exposições.



**Piso 1**

Imagem 30: Planta baixa do piso da rua. (fonte: KKA)



**Fachada Norte**

Imagem 31: Fachada Norte. (fonte: KKA)

## Estrutura:



Imagem 32: Foto do pilar central do Museu Ponte de Madeira de Yusuhara. (fonte: Archdaily; crédito: Takumi Ota Photography)

O arquiteto japonês Kengo Kuma adotou uma solução estrutural inspirada em uma ponte famosa no Japão, chamada de Ponte Saruhashi ou Ponte dos Macacos, que é feita a partir de vários elementos em balanço<sup>22</sup>. A escolha da Madeira Lamelada Colada como material construtivo surgiu a partir da história de Yusuhara, uma pequena cidade fortemente ligada ao ramo de carpintaria e da indústria da madeira. A estrutura em madeira está apoiada em quatro estruturas metálicas, sendo a central a mais delgada e a única revestida em madeira.

---

<sup>22</sup> Kuma, K., & Obuchi, Y. (n.d.). *Four Facets of Contemporary Japanese Architecture: Technology*. Aula apresentada na University of Tokyo. Acessado em 28 de Abril, 2021, de <https://learning.edx.org/course/course-v1:UTokyoX-UTokyo005x-3T2016/block-v1:UTokyoX-UTokyo005x-3T2016-type@sequential-block@2c96a86761c149df857058f28670014e/block-v1:UTokyoX-UTokyo005x-3T2016-type@vertical-block@668962643d6a4369bac2dd2ffe6e4753>

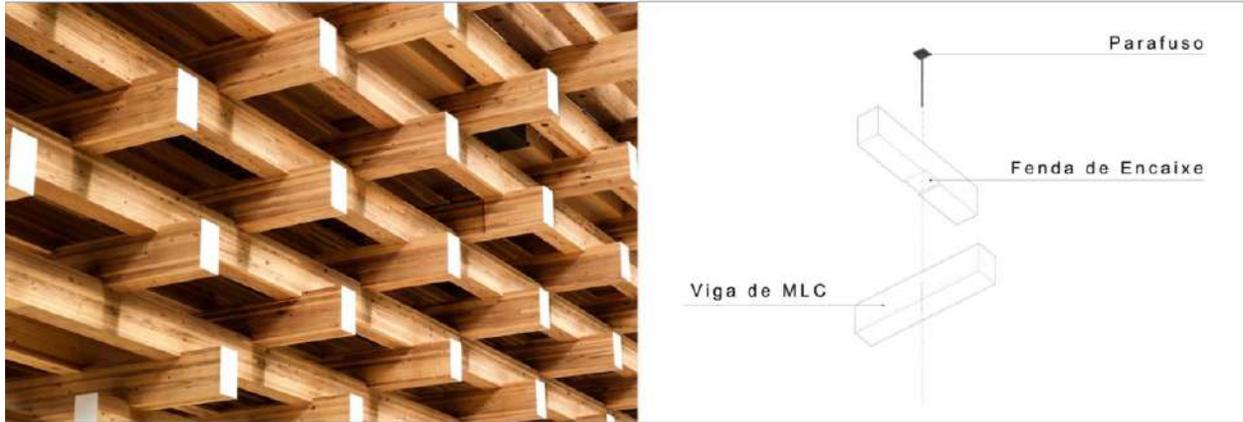


Imagem 33: Diagrama do encaixe das vigas perpendiculares. (fonte: Duan Ni)

A solução de utilizar peças menores de madeira, tendo 30 cm de altura (com exceção da viga do cume com 35cm), se deu por duas razões: a primeira foi que o arquiteto queria que as peças fossem produzidas pela indústria local da cidade, onde existe uma limitação no tamanho das peças, e o segundo motivo foi uma tradição da carpintaria japonesa que tem o costume de construir grandes elementos a partir de pequenas peças<sup>23</sup>. O arquiteto também afirma que se ele projetasse a estrutura com peças muito grandes, as vigas de madeira teriam características similares às vigas de betão.

As vigas de madeira lamelada colada de Cedro japonês que compõe a estrutura da ponte, estão organizadas em 18 camadas perpendiculares. As vigas situadas no sentido longitudinal têm um balanço de 2.60 cm, enquanto as no sentido transversal apenas 70cm. A comprimento das vigas longitudinais aumenta 2.40m em cada lado, em relação a fileira longitudinal inferior, e as fileiras transversais aumentam 40 cm a cada fileira. As vigas transversais possuem um afastamento de 78cm entre eixos, ou 60cm entre faces, e as longitudinais 1.35m entre faces ou 1.53m entre eixos. O encaixe das vigas perpendiculares é feito através de uma pequena fenda de encaixe, com 3cm de profundidade, onde uma viga apoia a outra. Essa fenda foi projetada com pequenas folgas, a fim de permitir que a madeira trabalhe durante o ano, já que se trata de um

---

<sup>23</sup> Kuma, K., & Obuchi, Y. (n.d.). *Four Facets of Contemporary Japanese Architecture: Technology*. Aula apresentada na University of Tokyo. Acessado em 28 de Abril, 2021, de <https://learning.edx.org/course/course-v1:UTokyoX UTokyo005x 3T2016/block-v1:UTokyoX UTokyo005x 3T2016 type@sequential block@2c96a86761c149df857058f28670014e/block-v1:UTokyoX UTokyo005x 3T2016 type@vertical block@668962643d6a4369bac2dd2ffe6e4753>

material que tende a sofrer pequenas alterações de dimensão durante o ano. As vigas sobrepostas são depois aparafusadas com um grande parafuso metálico.

A estrutura do piso da ponte é feita a partir de 24 vigas de MLC de Cipreste de 18x70cm juntas apoiadas nas vigas perpendiculares. Essa estrutura também serve de suporte para os 58 pilares de madeira lamelada colada, com dimensões de 27 x 18cm, e 3.3m de altura. Os pilares têm o afastamento igual as vigas longitudinais, de 1.53m entre eixos. O sistema da estrutura da cobertura é feito através de um conjunto de vigas de 22cm de altura e 18 cm de largura, apoiadas em uma viga de cume e vigas de beiral. O uso da madeira não é limitado somente na estrutura do museu, ela também é usada no forro, nas paredes e no piso.

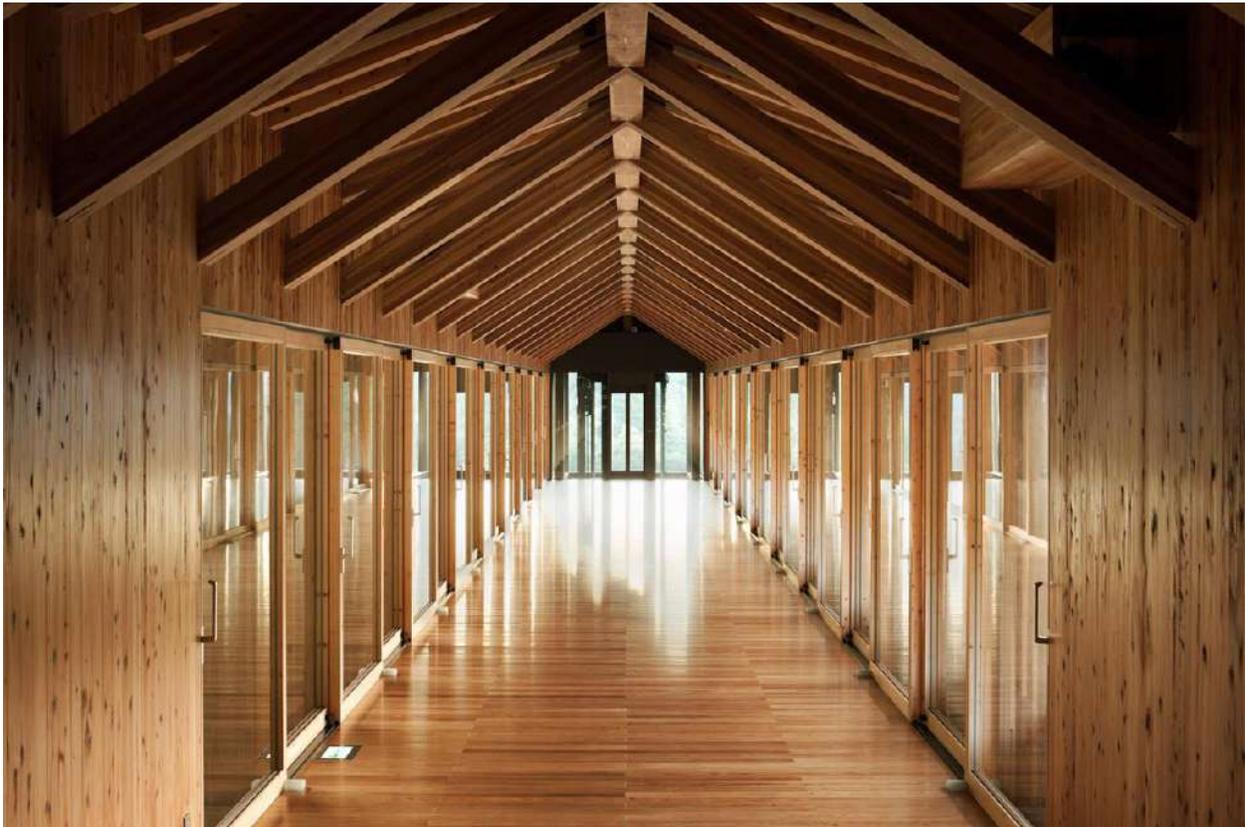


Imagem 34: Vista interna da ponte de madeira, com a torre do elevador ao fundo. (fonte: KKAA; crédito: Takumi Ota Photography)



panorâmico que liga a ponte ao spa. Os apoios são feitos através de peças de aço preta com 15 cm, formando uma estrutura retangular, com exceção do pilar que está localizado junto as vigas perpendiculares, formando um pilar de 92 x 92xm, revestido em madeira. A escolha da cor preta nos três apoios periféricos, e o revestimento no pilar mais delgado e central, se dá com o proposito de esconder as estruturas mais pesadas e destacar o pilar mais fino, dando uma ideia de leveza a estrutura.

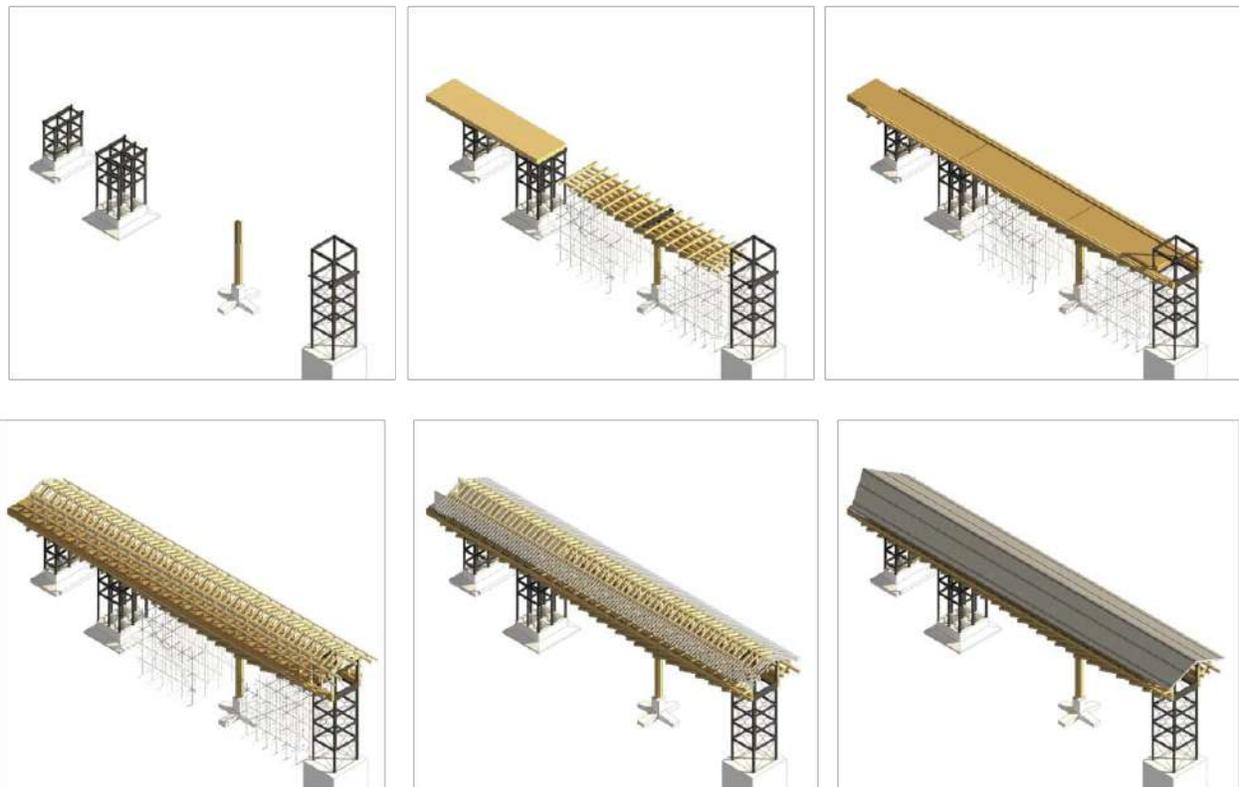


Imagem 36: Diagrama do processo construtivo da ponte. (fonte: Duan Ni)

## IV. ANÁLISE COMPARATIVA

Para uma melhor compreensão da capacidade e versatilidade da madeira engenheirada em projetos arquitetônicos, é necessária uma análise comparativa de distintas soluções adotadas por diferentes arquitetos. A comparação entre os três projetos previamente citados e o projeto desenvolvido ao longo da cadeira de projeto, não retrata somente a capacidade estrutural do material, mas também as intenções na hora de projetar em madeira. Segundo o arquiteto Kengo Kuma, autor do projeto do Museu Ponte de Madeira, existem dois tipos de pensamento sobre estruturas de madeira: o que trata a madeira e o aço como equivalentes, e, portanto, trata os dois materiais da mesma forma, ou o que considera a madeira como um material diferente e que requer um pensamento construtivo específico, sendo drasticamente diferente das soluções em aço.



Imagem 37: Centro de exposições do Museu Ponte de Madeira Yusuvara. (fonte: KKA; crédito: Takumi Ota Photography)

A diferença de pensamento, abordado por Kuma, pode ser visto ao comparar os projetos abordados neste trabalho. Os dois arquitetos japoneses acreditam que a estrutura deve ser concebida de maneira em que as características da madeira sejam usufruídas, evitando o uso de soluções similares ao aço, assim como elementos metálicos. A fim de alcançar esse tipo de resultado é necessário ter o *know-how* de como utilizar o material da maneira correta, levando isso em consideração desde o princípio da concepção da edificação.

No projeto do Museu Ponte, foram utilizadas pequenas peças de madeira que se encaixam, sempre havendo uma pequena folga para o trabalho do material, forma uma série de elementos em balanço. As peças são fixas através do uso de um parafuso que atravessa o eixo das vigas, tendo um pormenor que esconde o elemento metálico. O arquiteto Ban adotou uma malha hexagonal de seis camadas, também utilizando peças de pequena dimensão de madeira, e com um elemento hexagonal de madeira que fixa uma peça na outra. Falando sobre a malha estrutural do Pompidou, o arquiteto afirmou:

Por exemplo, o telhado Metz quase não usa aço. Sempre evito coisas como parafusos. Você pode inicialmente prender placas de aço apenas prendendo objetos, e elas se tornam detalhes de aço. Por exemplo, isso é muito simples. Basta fazer buracos na madeira, fazer as juntas e depois fixá-las com parafusos. Com o telhado Metz, a superfície é deslocada para que não fique em alinhamento perfeito. Se não tivesse sido deslocado, as juntas teriam se tornado necessárias e, portanto, há uma possibilidade de que eu poderia ter que usar mais metal. Ao deslocar a superfície, evitou a necessidade de juntas<sup>24</sup>.

A escolha da madeira para solucionar a estrutura destas duas edificações não foi feita somente pelo aspecto visual, ou emocional que a madeira traz, mas sim suas características ímpares. Ambas as estruturas foram planejadas de maneira que só poderiam ser realizadas em madeira, não utilizando a madeira apenas como um substituto para outro material.

---

<sup>24</sup> Ban, S., & Obuchi, Y. (n.d.). *What Do You Want, Wood?* Aula apresentada no curso Four Facets of Contemporary Japanese Architecture: Technology da University of Tokyo. Acessado em 20 de Abril, 2021, de <https://learning.edx.org/course/course-v1:UTokyoX:UTokyo005x:3T2016/block-v1:UTokyoX:UTokyo005x:3T2016:type@sequential-block@79b8fddd04c14c7e9a44ac93ee9287c1/block-v1:UTokyoX:UTokyo005x:3T2016:type@vertical-block@7c798c82f7cf4ae887dd13c4de03fc88>



Imagem 38: Malha estrutural da cobertura do Centre Pompidou Metz. (fonte: Shigeru Ban Architects; crédito: Designtoproduction)

O Centro Equestre em Matosinhos é um exemplo da outra linha de pensamento da utilização da madeira engenheira nas edificações. A solução estrutural adotada é composta por uma estrutura simples, de pilar e viga, que poderia ter sido resolvida da mesma maneira através da utilização de elementos metálicos. As conexões entre os elementos de madeira são feitas através do uso de grandes cintas metálicas e um elevado número de parafusos, que se destacam na estrutura. Segundo o arquiteto Carlos Castanheira, a utilização da madeira foi um pedido do cliente, assim influenciando como o projeto foi pensado. A estrutura da edificação acaba por não utilizar as características únicas da madeira, tendo o material presente principalmente devido ao fator estético.



Imagem 39: Área da cafeteria no Centro Equestre. (fonte: Carlos Castanheira)

A estrutura da cobertura da Igreja, apesar de possuir uma forma relativamente simples e que poderia ser resolvida através do uso de vigas metálicas ou de betão, visa utilizar as soluções de conexão de peças que só a madeira proporciona. Os barrotes têm a mesma largura e altura que as vigas, não havendo uma distinção dos elementos principais da estrutura, diferentemente do que existe no Centro Equestre, onde os barrotes são visivelmente menores. A ligação entre as vigas e os barrotes é feito através de um encaixe na parte superior, com parafusos metálicos fixando os elementos pela parte de cima das peças, assim permitindo que nenhum material metálico seja visível pelos usuários da edificação. A madeira também foi escolhida devido ao seu fator emocional, o conforto que ela traz para dentro do edifício, que serve de contraste das grandes paredes de betão.



Imagem 40: Renderização da estrutura da cobertura da Igreja.

	PROJETO				
		Centro Equestre	Centre Pompidou	Museu Ponte de Madeira Yusuhara	Igreja e Centro Paroquial
INFORMAÇÕES	ANO	2012	2010	2011	2021
	ÁREA	4600m <sup>2</sup>	11330m <sup>2</sup>	14736m <sup>2</sup>	2400m <sup>2</sup>
	PROGRAMA	Esportivo	Cultural	Cultural	Religioso
	CIDADE	Matosinhos	Metz	Yusuhara	Porto
	PAÍS	Portugal	França	Japão	Portugal
	ARQUITETOS	Carlos Castanheira Arquitectos	Shigeru Ban Architects	Kengo Kuma and Associates	_____
	VÃO LIVRE (MAX)	24m	40m	15.5m	29m
ESTRUTURA	MALHA	Ortogonal	Hexagonal	Perpendicular sobreposta	Ortogonal Radial
	MLC	●	●	●	●
VIGAS	AÇO				
	MLC	●	●	●	
	MLC + AÇO		●	●	
PILARES	CONCRETO				●
	INTERNAS		●	●	●
CONEXÕES	EXTERNAS	●			
	CLT	●			
	WOODFRAME	●		●	
PAREDE	CONCRETO		●		●
	CLT				●
COBERTURA	CHAPAS DE MADEIRA	●		●	
	METÁLICA		●		

Imagem 41: Tabela comparativa entre as edificações.

## V. ANÁLISE DO PROJETO

### Igreja e Centro Paroquial Junto ao Cemitério do Prado do Repouso

Área: Total – 2.400,3m<sup>2</sup> | Igreja 917m<sup>2</sup>

Programa: Religioso

Localização: Porto, Portugal

#### 5.1 Programa

Localizado junto ao Colégio Salesianos do Porto e ao Cemitério do Prado Repousado, o terreno do projeto possui uma vista privilegiada da Ponte Maria Pia, do Douro e de Vila Nova de Gaia. A área de intervenção tem 2.570m<sup>2</sup> e estava dividida em dois níveis, tendo uma diferença de aproximadamente seis metros de cota. O terreno está apoiado em um muro de pedra no alçado sul, permitindo uma vista desobstruída da envolvente. Ao norte da área de intervenção está situada a Rua de Gomes Freire, que intersecta a Rua de São Victor, marcando o limite do terreno.

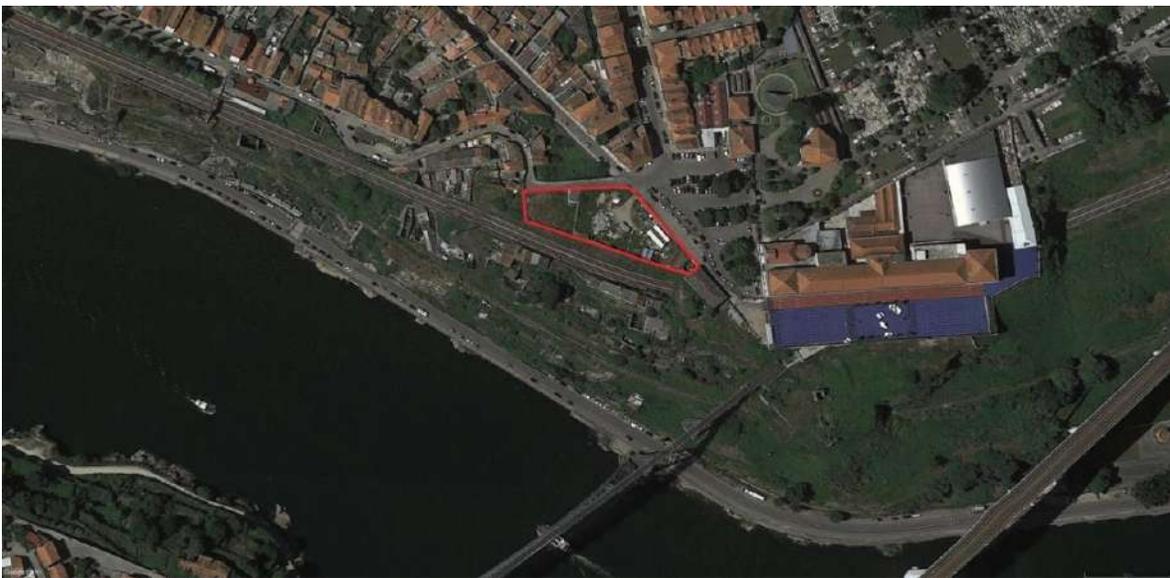


Imagem 42: Vista área da área de implantação. (fonte: maps.google.com)

O programa proposto foi dividido em quatro espaços: igreja, área para o pároco, capelas mortuárias, e o centro paroquial. A implantação do projeto foi pensada a fim de modificar o mínimo possível nas cotas do terreno, assim dividindo o programa em dois patamares diferentes. No patamar mais baixo situado na cota 65,20m, tendo acesso através da Rua de Gomes Freire, está localizado o centro paroquial, composto por dois volumes separados que formam um “L”.



Imagem 43: Planta de Implantação

A edificação da administração está no limite oeste do terreno, abrigando quatro salas de catequese no pavimento térreo. A fachada sul é composta por janelas de correr que vão do piso ao teto, permitindo uma total abertura para uma praça mineral. A outra edificação do patamar inferior é o salão paroquial, que serve de muro de contenção para o nível superior da

implantação. Junto ao salão paroquial está a cafeteria, que pode ser integrada ou independente através do uso de painéis camarão de madeira. Assim como as salas de catequese, toda a fachada oeste do salão paroquial possui janelas de correr que se abrem para a praça.

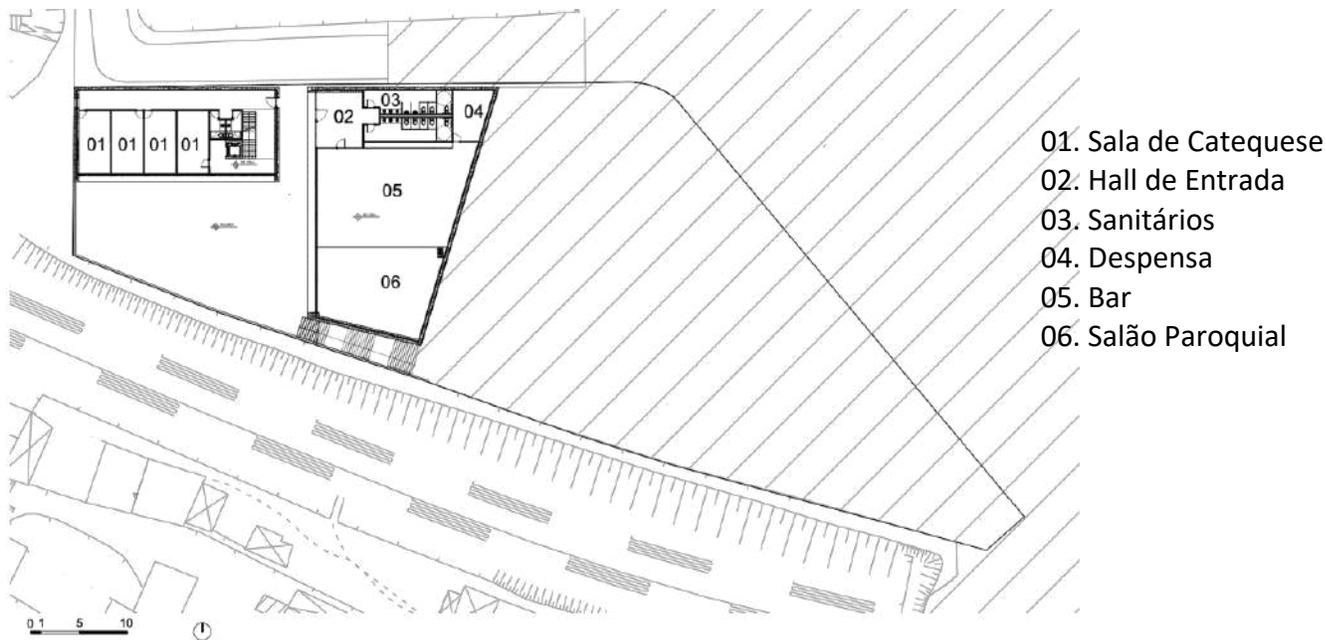


Imagem 44: Planta baixa do térreo (nível 65.20m).

O segundo piso da edificação da administração é composto por uma sala de catequese adicional e os serviços administrativos. O salão paroquial e a cafeteria têm pé direito duplo, todavia existe uma área técnica no pavimento logo acima das instalações sanitárias. As capelas mortuárias estão enterradas, tendo o acesso através de uma grande escada na praça superior. O acesso do carro fúnebre é feito através de um portão na Rua de Gomes Freire. As quatro capelas mortuárias têm uma pequena abertura quadrangular, que permite a entrada de luz natural, e ao mesmo tempo não afetando o aspecto de muro de pedra no exterior.



Imagem 45: Planta baixa do segundo piso.

A praça superior é acessada a partir da cota 71,40m, seguindo a inclinação da rua do Largo do Padre Baltasar Guedes. O piso é predominantemente mineral, tendo apenas a cobertura do volume do salão paroquial em grama. A ideia foi elevar a igreja a fim de criar um espaço público contínuo, assim não privando a vista privilegiada do local, entre o Cemitério do Prado Repousado e a nova praça. Existem apenas três apoios da igreja no piso da praça: a escada, o elevador e um grande pilar, que também marca a entrada para o nível das capelas mortuárias.

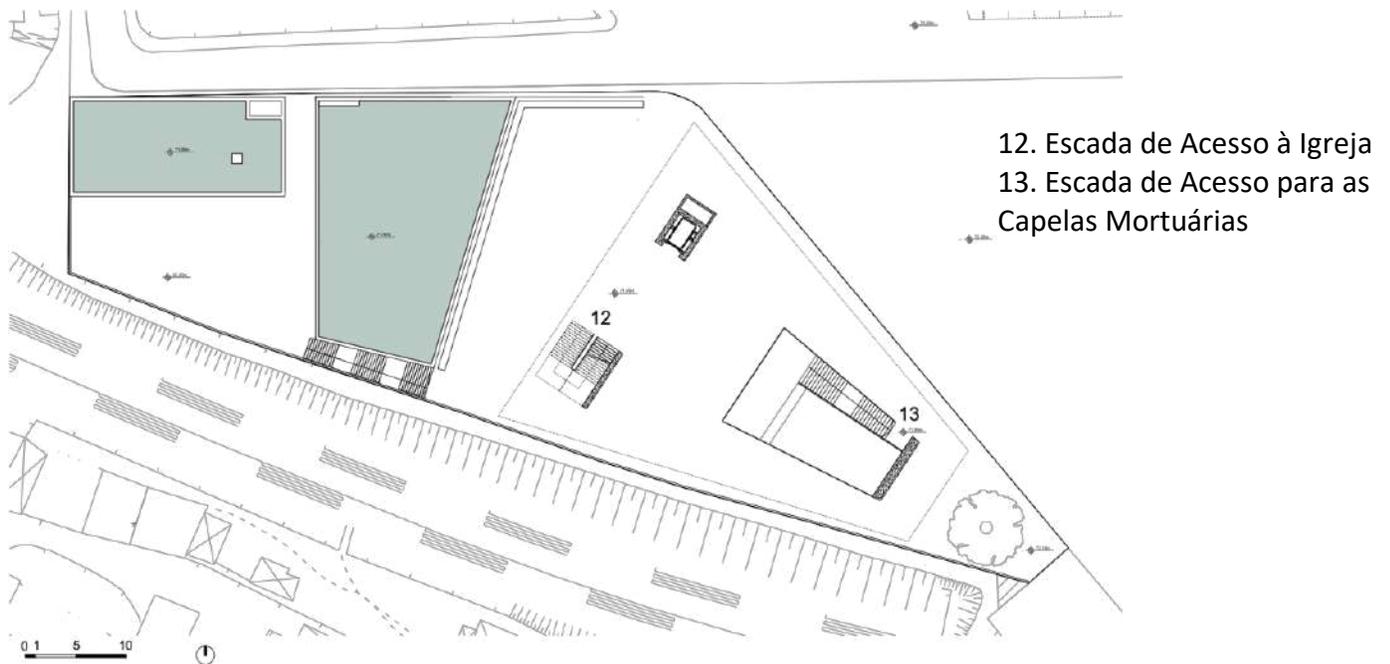


Imagem 46: Planta baixa da praça na cota 71.40m.

A igreja possui uma forma trapezoidal, seguindo a angulação dos limites dos terrenos, o que ajuda a criar uma perspectiva aumentada em direção ao altar. A escada e o elevador dão acesso à um foyer, que organiza a entrada da igreja, assim como dá acesso à uma área técnica e as escadas que levam às áreas do pároco. Junto à entrada da assembleia, está a pia baptismal, o acesso ao coro alto, e os confessionários. Além do corredor central, que é o mais largo, há dois corredores laterais que servem de apoio, facilitando a movimentação dos usuários dentro da igreja. O altar elevado é iluminado através de uma janela zenital que fica escondida da assembleia pela a estrutura de vigas da cobertura, e um grande vitral azul. O grande pilar estrutural do piso inferior recebe um revestimento de dourado servindo de fundo do altar, e escondendo o acesso a sacristia.

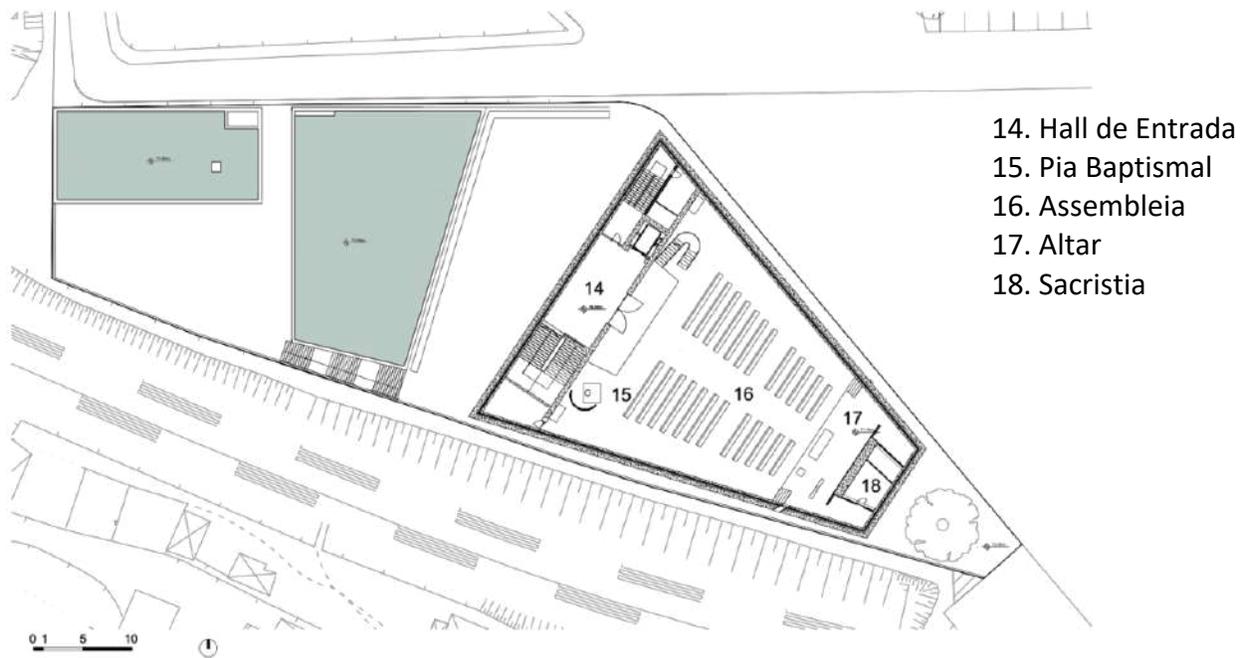


Imagem 47: Planta baixa da Igreja.

O último piso do projeto é onde está a área do pároco, composto por uma recepção, uma sala de reuniões e o escritório para o pároco. Esses ambientes são iluminados através de um jardim envidraçado que permite a entrada de luz natural.

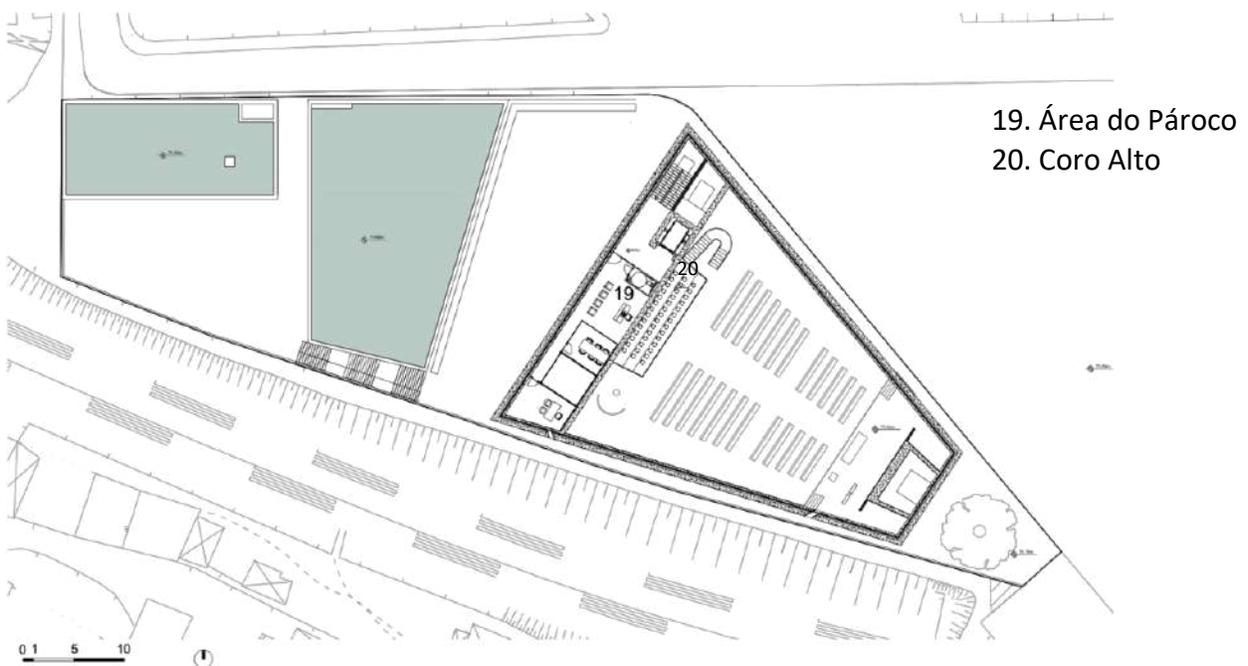


Imagem 48: Planta baixa da área do pároco.

## 5.2 Estrutura

Por se tratar de uma igreja a solução construtiva adota tem que possuir um caráter especial, que transmita a sensação desejada para os usuários do local. As paredes de concreto à vista, assim como o piso mineral escuro, retratam o mundo frio que está ao nosso redor. A escolha de uma estrutura de madeira lamelada colada surgiu a fim de responder as duas questões, tanto a estrutural como a sentimental. A madeira, por se tratar de um material natural, possui um conforto maior que o betão, passando a intenção de um conforto vindo de cima, em contraste com o mundo frio em que vivemos. Devido a estrutura das paredes estar apoiada somente nos pilares de betão, era necessário projetar uma estrutura leve que sustentasse apenas a cobertura, portanto a madeira, devido ao seu baixo peso próprio e grande capacidade estrutural, foi escolhida.

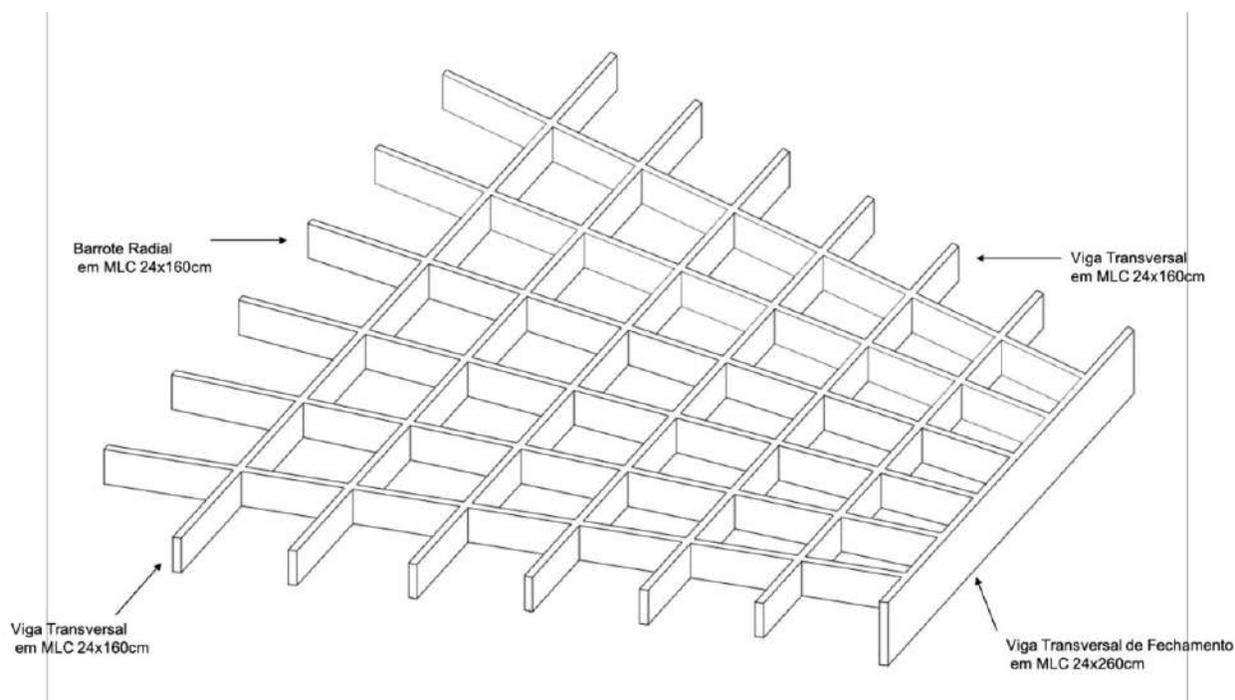


Imagem 49: Diagrama da estrutura da Igreja.

A estrutura da cobertura é composta por sete vigas transversais e 42 barrotes radiais. Ao desenhar uma linha em cada parede lateral da igreja, foi possível encontrar o ponto onde elas se intersectam, e a partir desse ponto foram puxadas as linhas do eixo de cada barrote, tendo uma

distância inicial entre eles de 206cm. Essa distância vai aumentando devido ao sentido radial, que aumenta a percepção de uma perspectiva aumentada. A distância entre as vigas transversais é constante, tendo 345cm entre os eixos.



Imagem 50: Planta baixa da estrutura da cobertura.

As vigas e barroteis têm as dimensões constantes, com 24cm de largura e 160cm de altura, sendo a única exceção a viga localizada mais próxima do altar que chega a 260cm de altura, fazendo o arremate da grelha estrutural. Os barroteis são fixados nas vigas transversais através do sistema de encaixe superior, assim sendo possível a ligação entre os dois elementos sem o uso de grandes elementos metálicos que ficariam à vista. As vigas são fixadas na estrutura através de uma cantoneira metálica, que fica escondida dentro da parede, assim permitindo que a estrutura da cobertura aparente ser feita apenas de madeira.

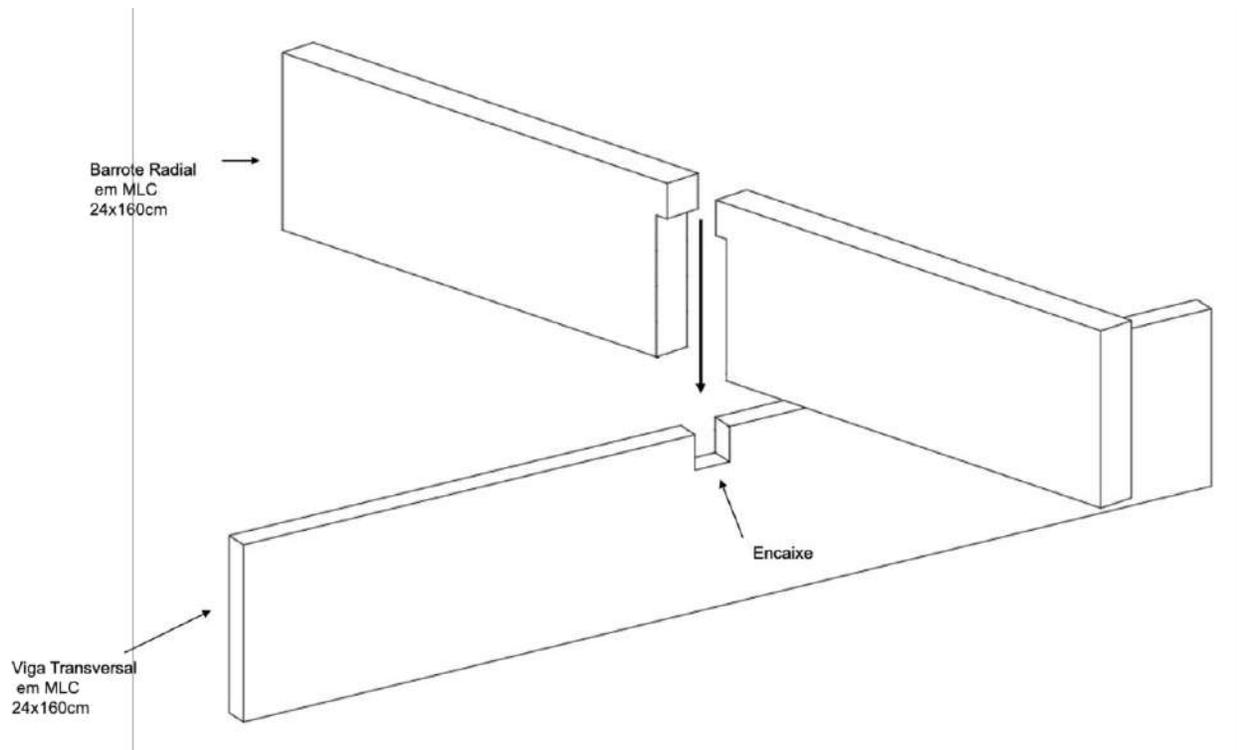


Imagem 51: Conexão entre a viga e o barrote.

A estrutura de vigas e barrotes sustenta uma cobertura de CLT, ou madeira lamelada cruzada, outro produto feito com madeira engenheirada. O painel de CLT tem 10cm de espessura, composto por três lamelas (3|4|3cm). A ligação entre as vigas e o painel da laje de cobertura é feito através de um perfil de madeira junto à um parafuso metálico.

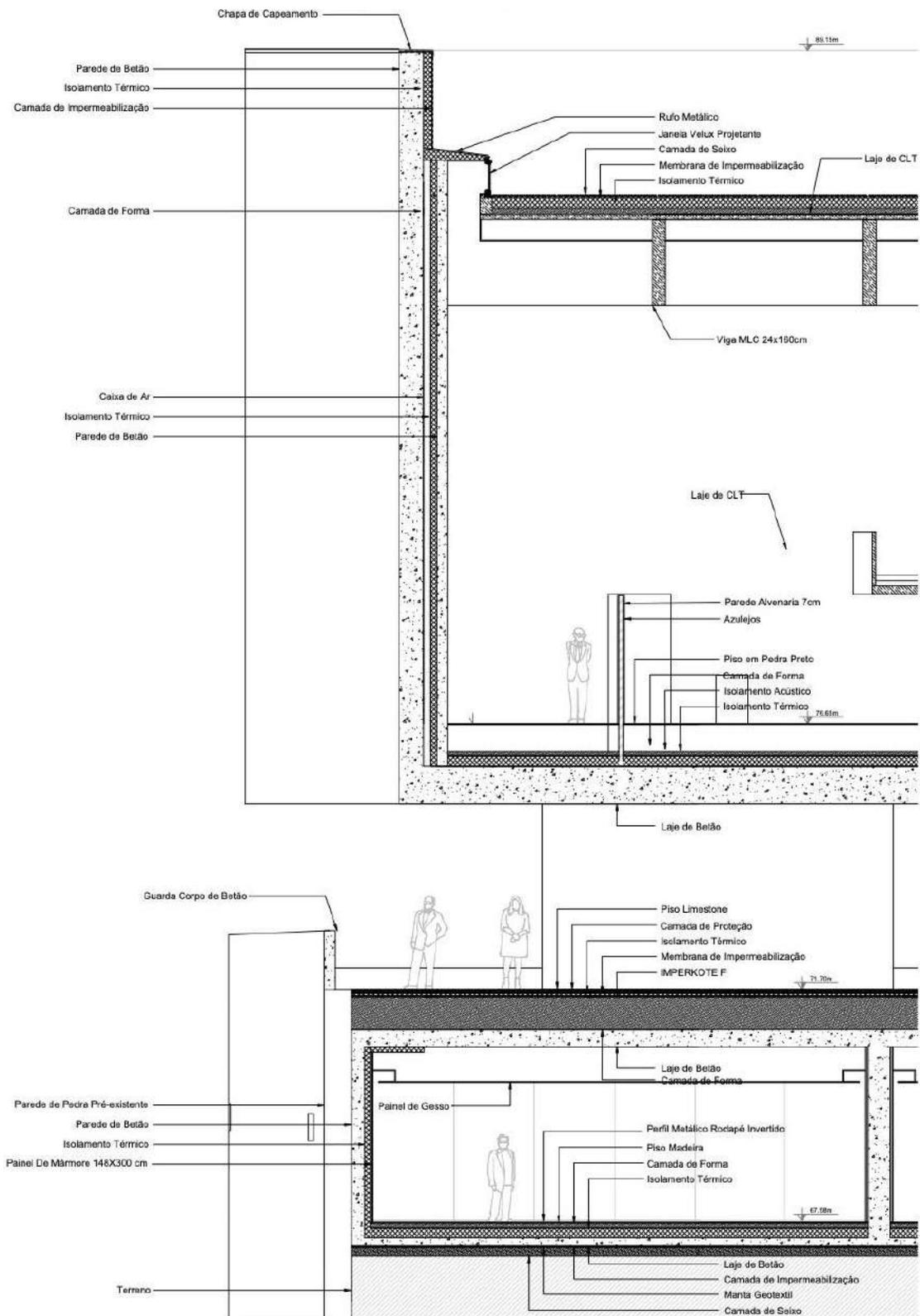


Imagem 52: Detalhamento construtivo da Igreja.

## VI. MEMÓRIA DESCRITIVA

### 6.1 Opções Tecnológicas e Construtivas

Uma das principais características da madeira é o seu excelente desempenho estrutural. Durante o século passado, especialmente nas décadas de 1980 e 1990, houve um aumento muito grande na pesquisa e criação de novos produtos em madeira, assim como a evolução de técnicas mais antigas, como a madeira lamelada colada. Esses avanços credenciaram a madeira como um dos materiais construtivos que mais suportam carga, tendo também o melhor desempenho na relação peso próprio/carga suportada<sup>25</sup>.

Energia Necessária kWh

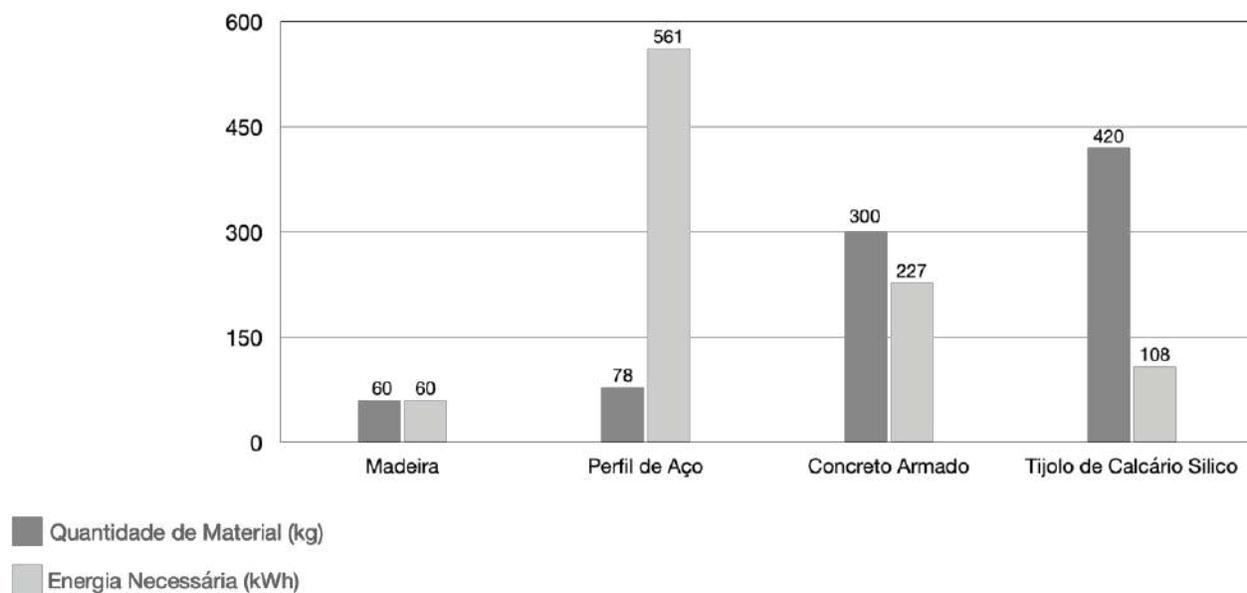


Imagem 53: Produção de um pilar com a mesma capacidade de carga – comparação entre materiais (fonte: Gauzin, Dominique)

A madeira lamelada colada permite otimizar as peças de madeira, permitindo a utilização de vigas contínuas de até 25 metros. Se necessário, através da implantação de um sistema híbrido com uniões em aço, é possível vencer vãos de até 100 metros. Apesar de ser um material

<sup>25</sup> Kolb, J. (2008). *Systems in timber engineering: Loadbearing structures and component layers*. Basel: Birkhäuser.

diretamente retirado da natureza, é possível ter um controle muito grande em relação ao desempenho estruturas de cada peça, podendo assim ser dimensionada de maneira correta para a construção. Cada tábua antes de ser colada, passa por um teste de resistência, dando um resultado em giga Pascal (GPa). A partir desses dados, um software calcula qual a melhor disposição das tábuas para alcançar a resistência máxima possível. As lamelas mais resistentes acabam por ficar nas extremidades da peça, enquanto as mais frágeis ficam situadas no meio, como demonstra a figura abaixo:



Imagem 54: Composição das lamelas em uma viga (fonte: Ita Construtora)

O desempenho estrutural de um sistema de madeira engenheirada é similar aos sistemas em aço, porém com um peso próprio muito mais leve, o que permite a construção de fundações menores. Em um exemplo de uma viga bi apoiada com um vão livre de quatro metros é possível fazer um pré-dimensionamento do tamanho da estrutura necessária de cada material tanto a madeira quanto o aço partem do dimensionamento de 5% do tamanho do vão, nesse exemplo tendo 20cm de altura, que corresponde à metade da estrutura em betão, que é pré-dimensionado em 10% do vão<sup>26</sup>.

<sup>26</sup> Salvatore, D. (2020, Dezembro 07). *Arquitetura e Engenharia em Madeira: Concepção e Detalhamento de Estrutura em MLC*. Aula apresentada na Escola Coletiva de Projetos.

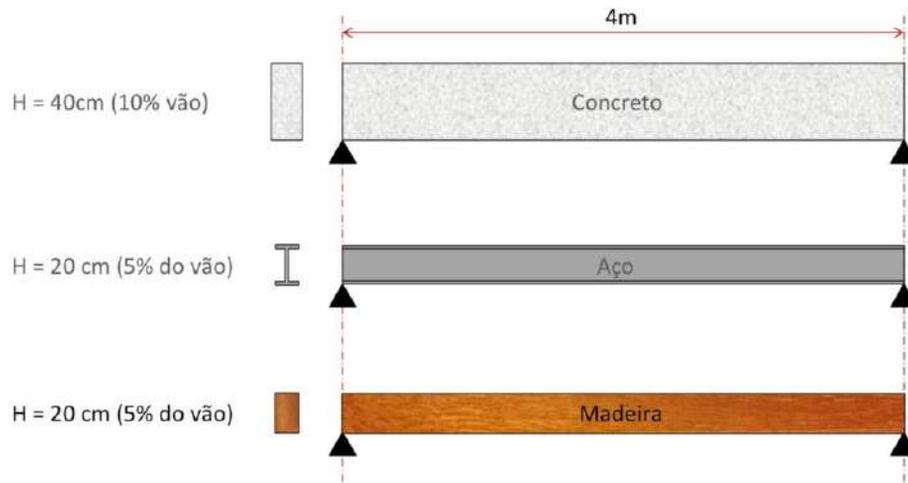


Imagem 55: Pré-dimensionamento de uma viga bi apoiada de diferentes materiais. (fonte: Ita Construtora)

A conexão entre elementos de madeira lamelada colada, e entre MLC e outros materiais, pode ser feita de diversas maneiras. Existem as soluções mais tradicionais, que podem ser adotadas em projetos similares ao do Centro Equestre, onde a estrutura foi concebida em um modelo de viga e pilar convencional, e também existem soluções mais complexas que podem ser adotadas em projetos específicos. É importante compreender tais soluções a fim de projetar as estruturas de madeira de forma correta, por esse motivo, serão apresentados diferentes pormenores construtivos visando mostrar as possibilidades presentes neste método construtivo. As ligações entre peças de MLC são feitas predominantemente através de elementos metálicos, que podem variar de formato e solução, tendo poucas obras em grande porte onde nenhum metal é utilizado.

Os pilares de madeira lamelada colada são fixados em fundações de betão, que devido ao baixo peso próprio da madeira, são menores do que em construções em betão ou aço. Essa ligação entre o pilar e a fundação é feita através de um elemento metálico, que é chumbado junto à fundação de betão, sendo encaixado no eixo do pilar e fixo através de pinos metálicos.

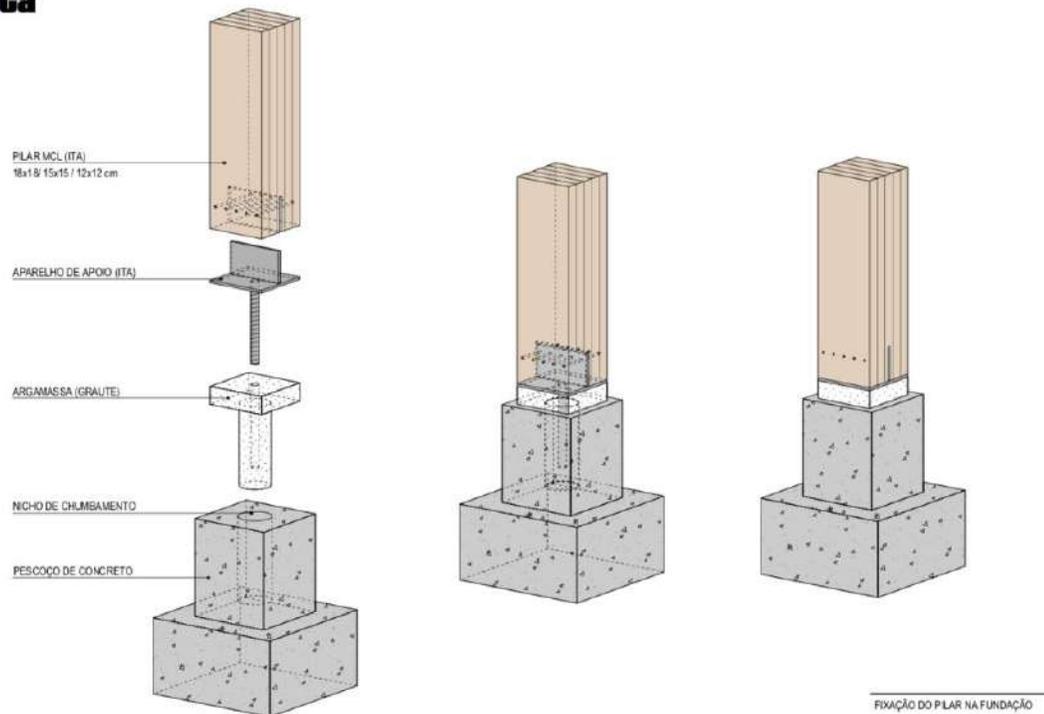


Imagem 56: Detalhamento construtivo da fixação do pilar em MLC na fundação (fonte: Ita Construtora)

Devido a madeira ser um material natural, ela requer cuidados específicos em relação à humidade, portanto, em situações que o pilar se encontra em uma área externa ou molhada, é necessário que a estrutura de madeira esteja elevada em no mínimo 5cm do piso, evitando o contato direto com a água. Os 5cm podem ser alcançados através do uso de uma peça de fixação metálica maior (como é visto no Centro Equestre), ou de um “pescoço” de betão.

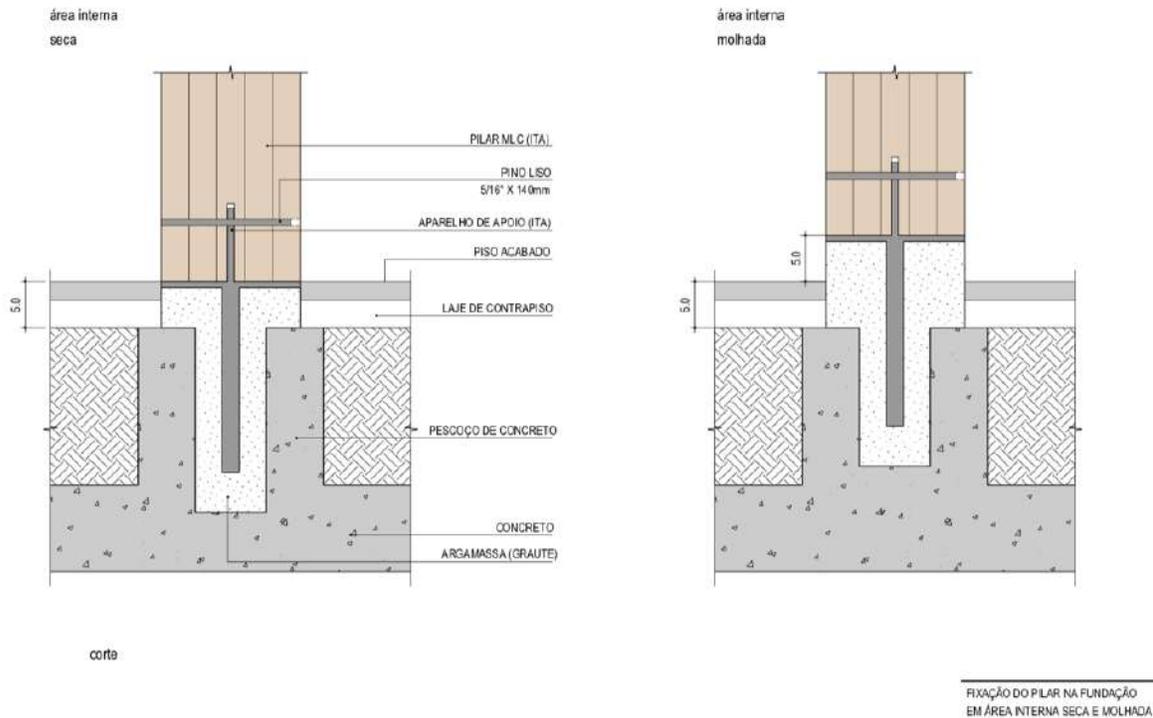


Imagem 57: Detalhamento construtivo da fixação do pilar em MLC nas áreas secas e molhadas. (fonte: Ita Construtora)

As vigas de MLC podem ser apoiadas em pilares de diferentes materialidades, e fixas em paredes estruturais. A escolha da solução do encaixe varia dependendo da proposta do arquiteto, sendo possível a criação de novos detalhamentos construtivos para cada projeto. O método convencional é similar ao utilizado na fixação dos pilares na fundação, sendo utilizado um elemento metálico que é fixo na madeira através de pinos. No caso em que a viga é fixa em um pilar de MLC, o elemento metálico é uma cantoneira que é fixada no pilar por parafusos sextavados. A solução adota no projeto da Igreja é diferente, pois as vigas de MLC são fixas à uma parede de betão estrutura, tendo a estrutura metálica de ligação concretada junto à parede. A ligação também pode ser feita através de cintas metálicas ou parafusos, tendo assim os elementos metálicos à vista.

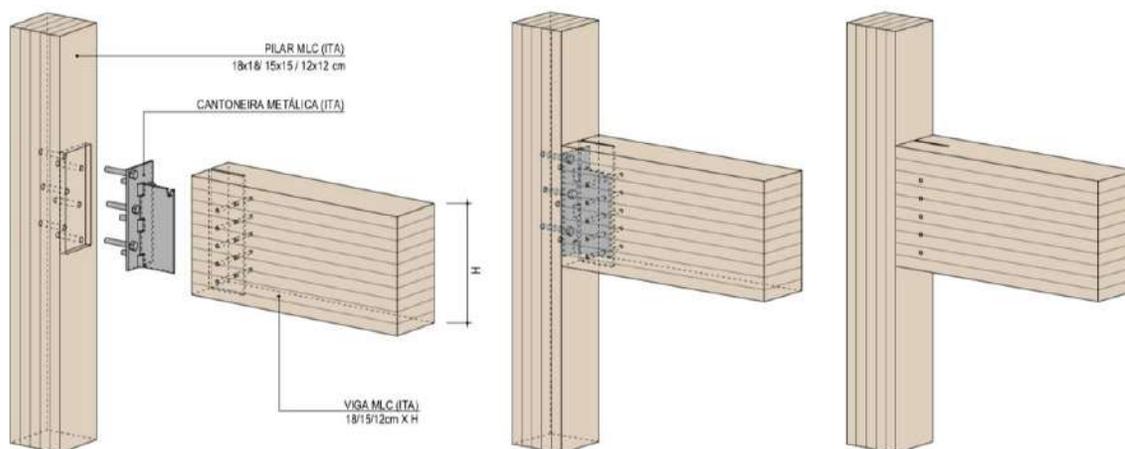


Imagem 58: Detalhamento construtivo da fixação da viga em MLC no pilar em MLC. (fonte: Ita Construtora)

Alguns arquitetos utilizam a oportunidade da ligação dos elementos para desenvolver pormenores que complementem os seus projetos de maneira única. A escolha da criação de tais elementos está relacionada diretamente ao pensamento que o arquiteto tem no aspecto da utilização da madeira, tirando proveito das características únicas do material, elaborando um detalhe que só poderia ser executado com a madeira lamelada colada. Para melhor retratar tais exemplos complexos, é essencial apresentar projetos, pois como já havia sido abordado previamente, tais detalhes tendem a ser desenvolvidos para um projeto específico. Na obra Nest We Grow, de Kengo Kuma, a ligação entre os pilares e as vigas de MLC é feita através de um sistema complexo de encaixes entre pilares compostos e vigas, sendo fixados por grandes parafusos metálicos. O arquiteto Shigeru Ban adotou um sistema de vigas e pilares singular no Edifício Comercial Tamedia, sendo toda a estrutura de MLC encaixada usando apenas elementos de madeira. As vigas encaixam nos pilares e são fixadas a eles através de um longo elemento de madeira elipsoidal que atravessa toda a estrutura.

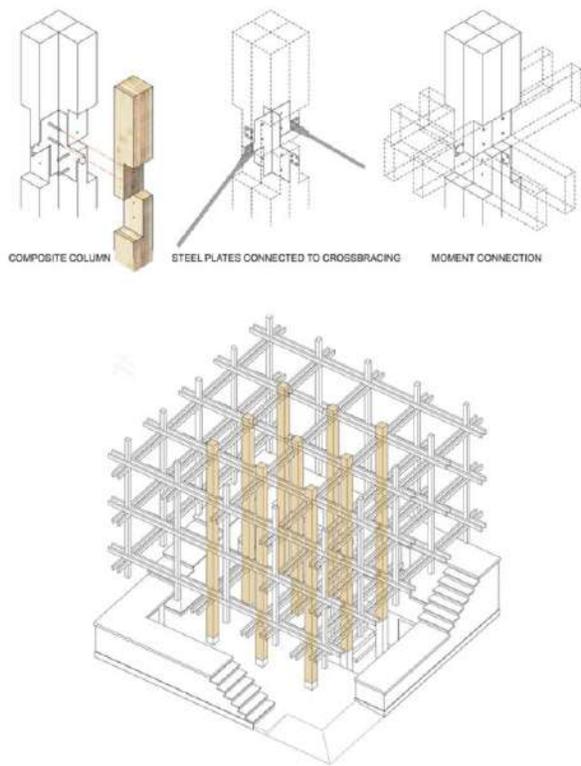


Imagem 59: Detalhamento construtivo do encaixe da viga em MLC no pilar em MLC, no projeto Nest We Grow. (fonte: KKAA; crédito: Shinkenchiku Sha)



Imagem 60: Detalhamento construtivo do encaixe da viga em MLC no pilar em MLC, no projeto Tamedia Office Building. (fonte: Shigeru Ban Architects)

Outro aspecto importante de se compreender é a ligação das vigas com os barrotes. No projeto da Igreja a conexão entre os dois elementos é feito através de um encaixe em um recorte na parte superior da viga, fixado por parafusos metálicos. Outra solução utilizada, principalmente em edificações com coberturas inclinadas, é a colocação do barrote acima das vigas, sendo fixado por parafusos autoatarraxantes.

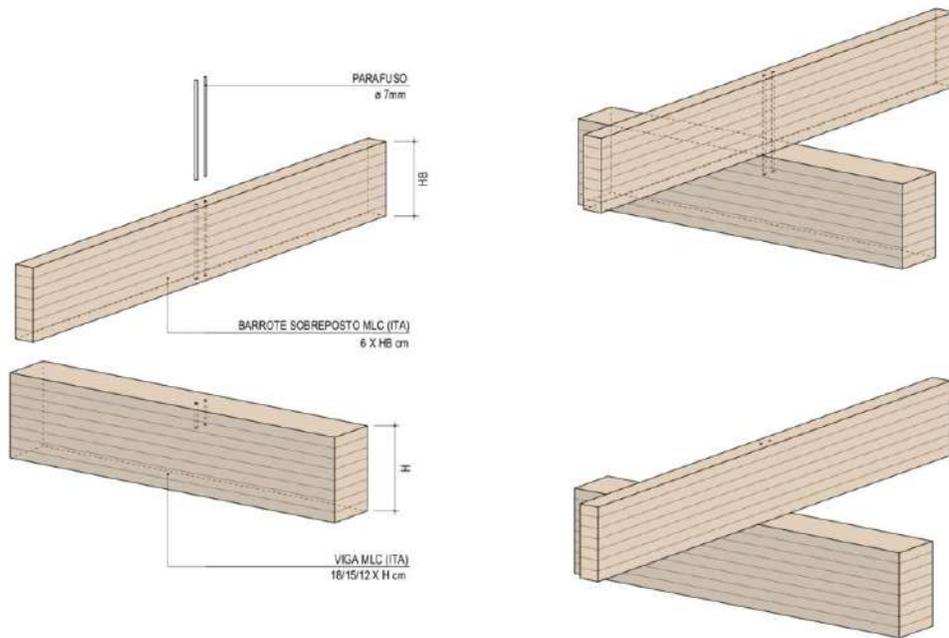


Imagem 61: Detalhamento construtivo da fixação do barrote sobreposto na viga. (fonte: Ita Construtora)

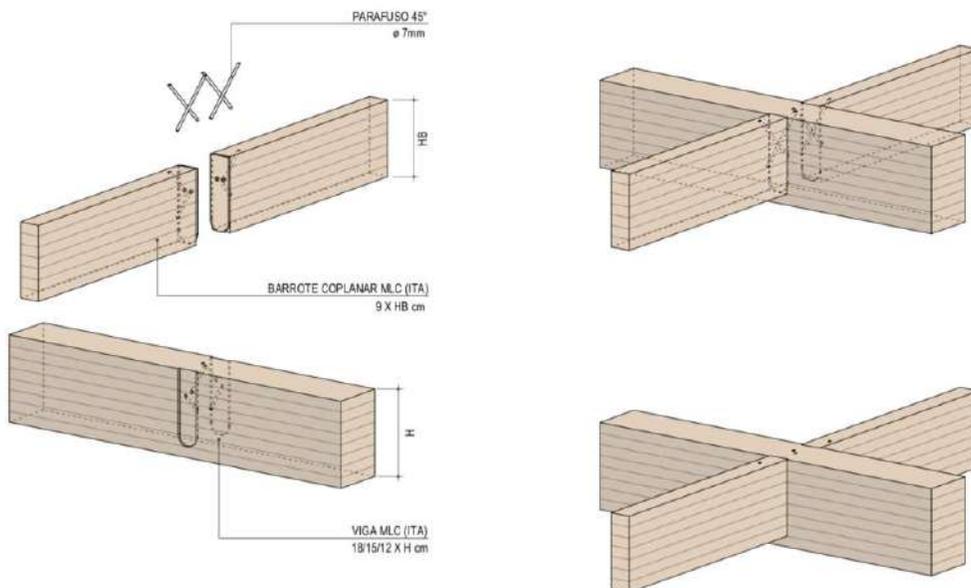


Imagem 62: Detalhamento construtivo da fixação do barrote com cauda de andorinha. (fonte: Ita Construtora)

## 6.2 Desempenho em Obras

O uso da madeira engenheirada implica em um canteiro de obras diferente dos outros métodos construtivos. A madeira engenheirada, por se tratar de um material pré-fabricado, já chega pronto no canteiro de obras, o que reduz o tempo de construção no local consideravelmente, podendo ser de 50% a 80% mais rápido que as construções que utilizam outros métodos construtivos<sup>27</sup>, além de possuir uma precisão milimétrica. As obras em madeira engenheirada também são mais silenciosas, pois as conexões das estruturas são feitas a partir de parafusos que podem ser instalados com pequenos equipamentos elétricos. A madeira exige alguns cuidados no seu armazenamento no canteiro de obras, como segurança 24 horas, assim como a implantação de instalações hidráulicas para os bombeiros. Por se tratar de um material com características inflamáveis, é necessário que não sejam feitas soldas no canteiro de obras.

O escritório Canadense Michael Green Architecture fez uma extensa análise dos custos da construção de duas edificações hipotéticas, tendo uma 12 e a outra 20 pavimentos<sup>28</sup>. O estudo discrimina o preço detalhado de cada parte do processo da construção usando três métodos distintos: construção em betão, e dois métodos de construção em madeira engenheirada. O primeiro método de madeira engenheirada é chamado de método do encapsulamento, onde a fim de alcançar os requisitos mínimos de desempenho contra incêndio, a madeira é encapsulada por placas de gesso anti-incêndio. O segundo método é a carbonização, onde ao invés de gesso são colocadas peças de madeira de “sacrifício”, que em caso de incêndio serão carbonizadas, assim protegendo a estrutural principal.

Na edificação de 12 pisos o custo total orçado foi (em dólares Canadenses- cotação 2011):

- Construção em betão: \$17.550.800,00
- Construção em madeira engenheirada (Encapsulada): \$17.856.200,00
- Construção em madeira engenheirada (Carbonizada): \$17.518.000,00

---

<sup>27</sup> Green, M., & Taggart, J. (n.d.). Design and Construction. In *Tall Wood Buildings Design, Construction and Performance* (pp. 52-57).

<sup>28</sup> Green, M. (2017). *The case for tall wood buildings: How mass timber offers a safe, economical, and environmentally friendly alternative for tall building structures*. Vancouver, BC: MGA - Michael Green Architecture.

Já na edificação de 20 pisos o custo total orçado foi (em dólares Canadenses- cotação 2011):

- Construção em betão:\$30.097.900,00
- Construção em madeira engenheirada (Encapsulada): \$30.989.900,00
- Construção em madeira engenheirada (Carbonizada): \$30.297.100,00

Apesar do valor total da obra ser similar entre o betão e a madeira engenheirada, algumas fases do processo construtivo apresentaram variações. A tabela a seguir demonstra as principais diferenças entre o método construtivo em betão e a madeira engenheirada.

<b>Edificação 12 Pisos</b>	<b>Betão (a)</b>	<b>Madeira Engenheirada Encapsulada (b)</b>	<b>Madeira Engenheirada Carbonizada (c)</b>	<b>Variação (a)- (b)</b>	<b>Variação (a)-(c)</b>
<b>Fundação</b>	433.400	309.600	309.600	123.800 (29%)	123.800 (29%)
<b>Estrutura</b>	1.565.700	2.670.100	2.715.200	-1.104.400 (-70.5%)	-1.149.500 (-73.4%)
<b>Requisitos e Taxas</b>	1.757.000	1.364.500	1.356.700	392.500 (22%)	400.300 (22.7%)

<b>Edificação</b>	<b>Betão (a)</b>	<b>Madeira Engenheirada Encapsulada (b)</b>	<b>Madeira Engenheirada Carbonizada (c)</b>	<b>Varição (a)-(b)</b>	<b>Varição (a)-(c)</b>
<b>20 Pisos</b>					
<b>Fundação</b>	928.800	516.000	516.000	412.800 (44%)	412.800 (44%)
<b>Acabamento do Teto</b>	353.400	736.700	353.400	-383.000 (-108%)	0 (0%)
<b>Requisitos e Taxas</b>	2.605.400	2.066.200	2.051.200	539.200 (20%)	554.200 (21%)

As diferenças relatadas nas tabelas ajudam a compreender algumas vantagens e desvantagens da madeira engenheirada. Por possuir um peso próprio mais baixo em relação ao betão, a estrutura da edificação fica mais leve, o que permite uma menor fundação. Por outro lado, na edificação de 12 pisos, o custo da estrutura da edificação ainda é muito elevado. A solução encapsulada acaba por se tornar mais cara devido aos acabamentos em gesso antifogo, que sobem o preço da obra. É importante ressaltar que nesse exemplo foi adotado a legislação canadense, que exigem a proteção da estrutura de madeira do fogo.

Um estudo de caso apresentado na Conferência Mundial de Engenharia de Madeira, analisou o custo das vigas de um projeto, comparando o valor das vigas em aço e das vigas em madeira lamelada colada. De acordo com os autores, além da construção em madeira ser 61% mais rápida, as vigas em MLC custariam U\$29.022, um valor muito inferior aos U\$50.6575 que custariam as vigas metálicas<sup>29</sup>.

<sup>29</sup> Laguarda-Mallo, M., & Espinoza, O. (n.d.). *Cross-Laminated Timber vs. Concrete/Steel: Cost Comparison Using a Case Study*. Apresentado na World Conference on Timber Engineering, Vienna.

### 6.3 Conforto Sensorial

A madeira possui uma estética ímpar, onde duas peças de madeira não têm o mesmo visual. A madeira aparente dentro de uma edificação afeta as pessoas, trazendo a natureza para o interior, o que proporciona um maior conforto para os usuários do local. Segundo o arquiteto Michael Green, as pessoas reagem de uma maneira diferente quando entram em uma edificação de madeira, até mesmo abraçando os pilares em MLC, coisa que ele nunca viu acontecer com um pilar de betão ou aço<sup>30</sup>.



Imagem 63: Hall de entrada do Wood Innovation and Design Centre, projetado pelo arquiteto Michael Green. (fonte: Michael Green Architecture)

Um estudo feito pela University of British Columbia, no Canadá em 2010, testou em 119 estudantes, a capacidade de redução de stress através do uso da madeira em edificações<sup>31</sup>. Para isso os estudantes foram analisados durante um período de 10 minutos de controle, 10-12

<sup>30</sup> Green, M. (2013). *Why we should build wooden skyscrapers* [Video]. TED Conference.

[https://www.ted.com/talks/michael\\_green\\_why\\_we\\_should\\_build\\_wooden\\_skyscrapers?language=en#t-75108](https://www.ted.com/talks/michael_green_why_we_should_build_wooden_skyscrapers?language=en#t-75108)

<sup>31</sup> Fell, D. R. (2010). *Wood in the human environment: Restorative properties of wood in the built indoor environment*. University of British Columbia. doi:10.14288/1.0071305

minutos realizado uma tarefa estressante, seguido por um período de 10 minutos de recuperação. Os resultados concluíram que os estudantes apresentaram um período de recuperação mais rápido quando realizaram o teste em um ambiente com madeira presente, assim diminuindo o stress.

Outra pesquisa realizada para a Forrest & Wood Products, demonstra a influência que a madeira tem nos utilizadores do das edificações. A pesquisa conclui que quanto maior a quantidade de madeira em uma edificação, maior é a produtividade, confiança e otimismo sentida pelos usuários do local<sup>32</sup>. Além disso, foram conduzidas entrevistas para entender quais sensações cada materialidade passa para as pessoas. A percepção que a madeira passa é de um material acolhedor, relaxante, e inspirador, principalmente comparado com o aço e o betão.

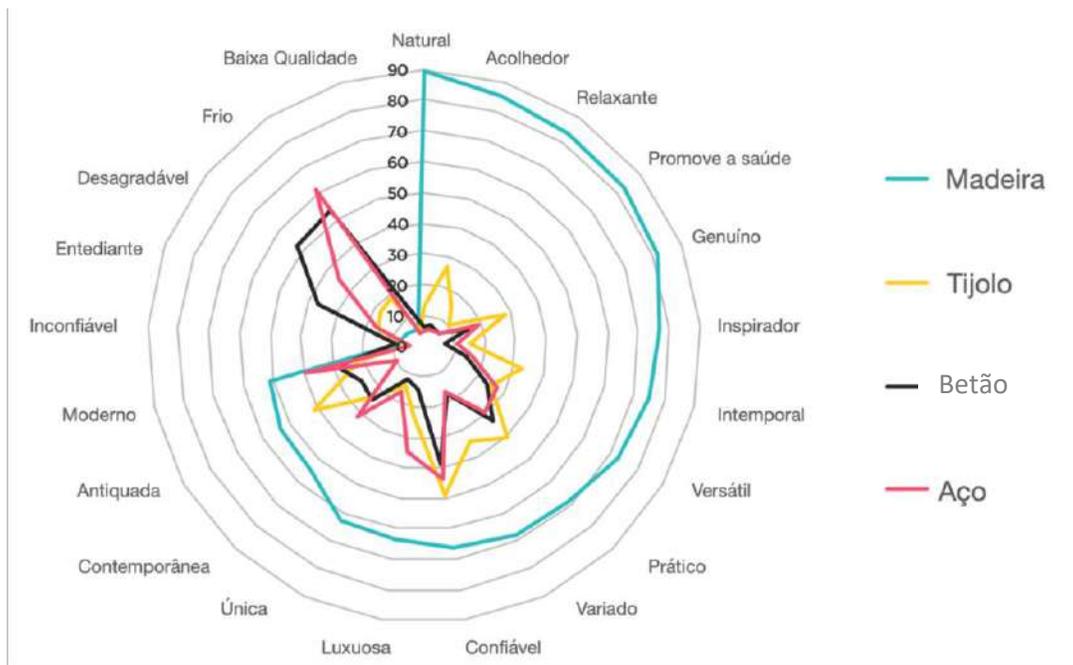


Imagem 64: Diagrama que demonstra os sentimentos passados para pessoas por diferentes materiais. (fonte: Workplaces: Wellness Wood = Productivity)

<sup>32</sup> Knox, A., Parry-Husbands, H., & Pollinate. (2018). *Workplaces: Wellness Wood = Productivity*.

## VII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo desta tese era analisar todos os aspectos da madeira lamelada colada, a fim de entender o porquê devemos utilizar esse material, assim como as suas vantagens e características. Para alcançar tal objetivo foi necessário realizar uma comparação entre a madeira e os dois principais materiais utilizados atualmente, o betão e o aço. Além disso foi preciso pesquisar como se projetar em madeira, desde os princípios a serem seguidos assim como os pormenores construtivos.

### **Comparação Entre Materiais:**

A primeira comparação realizada foi no âmbito ambiental, comparando o uso de recursos necessários para a construção de uma edificação e a poluição que cada material emite na atmosfera. Esses dados são importantes porque atualmente o mundo está enfrentando uma grande ameaça devido ao aquecimento global, e grande parte desse fenômeno se deve à construção civil. Os estudos que foram apresentados concluem que a madeira além de conseguir “sequestrar” uma tonelada de CO<sub>2</sub> por metro cúbico, também emite menos poluição, polui menos água e produz menos resíduos que o aço e o betão. A madeira, por se tratar de um recurso natural, pode ser replantada a fim de suprir o que foi retirado da natureza.

Outro fator importante, principalmente quando se trata de sistemas construtivos, é o desempenho estrutural de um material. Através dos avanços tecnológicos dos últimos anos, a madeira lamelada colada já apresenta uma capacidade estrutural superior ao betão, e similar ao aço. Um aspecto positivo da madeira é o baixo peso próprio que possibilita o uso de fundações de menor escala, assim como uma montagem muito rápida na obra. O valor da construção de MLC ainda é caro, devido a produção do material ainda não ser em grande escala, mas pode ser reduzida a partir de um projeto que otimiza a sua utilização.

Na relação dos sentimentos que a madeira passa para os usuários da edificação, foi possível concluir que é um material benéfico para a saúde. As pessoas relatam que a madeira as

deixam mais produtivas e concentradas, além de passar uma sensação de conforto maior que o betão, o aço e até o tijolo.

### **Escolas de Pensamento:**

Através da análise das obras de referência, é possível distinguir duas escolas de pensamento sobre a utilização da madeira engenheirada nas edificações. Devido às características estruturais da madeira serem muito similares ao aço, há engenheiros e arquitetos que desenvolvem a madeira lamelada colada como um material substituto. Esse pensamento leva a estruturas mais convencionais, assim como detalhamentos parecidos com as conexões metálicas, frequentemente utilizando muitos parafusos. A escolha da madeira como material construtivo nesse cenário é baseada no aspecto estético do material, a fim de trazer a natureza para dentro da edificação.

A segunda escola de pensamento adota um *approach* diferente em relação a construir em madeira. Esses engenheiros e arquitetos pensam que a madeira é completamente diferente do aço, e por causa disso requer soluções diferentes. A madeira é utilizada a fim de aproveitar ao máximo as suas características únicas, criando detalhamentos complexos de encaixe e evitando o uso de elementos metálicos. Essas estruturas são concebidas de tal maneira, que só é possível realizá-las em madeira. A escolha do material foi feita através das oportunidades apresentadas pela madeira, que permite a criação de elementos diferentes dos outros materiais.

### **Conclusão:**

A madeira lamelada colada, assim como qualquer produto de madeira engenheirada, apresenta um grande potencial na arquitetura mundial. A arquitetura deve projetar novas edificações visando o impacto que será causado na saúde do nosso planeta, e a partir disso a madeira surge como um material importante na construção civil. A madeira já tem capacidade de superar os métodos e materiais construtivos mais tradicionais, propiciando obras mais limpas, rápidas e menos poluentes. O desempenho estrutural da madeira lamelada colada é capaz de

resolver estruturas complexas e grandes vãos, sendo cada vez mais adotada em grandes edificações.

É necessário tirar proveito das características únicas da madeira ao projetar uma edificação, criando novos elementos e soluções construtivas. Apesar de existirem duas escolas de pensamento bem estruturadas em relação a utilização da madeira engenheirada, apenas uma aparenta estar correta. A madeira não deve ser pensada como um material substituto do aço em uma sistema estrutural convencional, mas sim como um elemento que tem que ser explorado e projetado de maneira ímpar. Através desse pensamento, muito utilizado na arquiteturas japonesa, será possível a construção de inúmeras edificações com soluções distintas, que aumentarão a riqueza e diversidade arquitetônica mundial.

O processo da utilização da madeira lamelada colada nas estruturas das edificações ainda está apenas começando, mas com o passar do tempo e com a necessidades do mundo atual de construções cada vez mais rápidas e menos poluentes, a utilização desse material deve crescer de maneira exponencial. Ainda existe um certo preconceito com a madeira, a considerando um material antigo e não versátil, porém cada vez mais é possível ver através de novas edificações, a versatilidade do material e o porquê dele ser o material do futuro. Os arquitetos têm um papel essencial na construção de um novo mundo, onde os seres humanos vivem em harmonia com o planeta, e a madeira surge como principal ferramenta para alcançar esse objetivo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, C. (2020, 25 de Janeiro). Centre Pompidou-Metz / Shigeru Ban Architects. Acessado em 02 de Maio, 2021, de <https://www.archdaily.com/490141/centre-pompidou-metz-shigeru-ban-architects>
- Ban, S., & Obuchi, Y. (n.d.). *What Do You Want, Wood?* Aula apresentada no curso Four Facets of Contemporary Japanese Architecture: Technology in University of Tokyo. Acessado em 20 de Abril, 2021, de <https://learning.edx.org/course/course-v1:UTokyoX UTokyo005x 3T2016/block-v1:UTokyoX UTokyo005x 3T2016 type@sequential block@79b8fddd04c14c7e9a44ac93ee9287c1/block-v1:UTokyoX UTokyo005x 3T2016 type@vertical block@7c798c82f7cf4ae887dd13c4de03fc88>
- Block, I. (2019, 19 de Março). Mjøstårnet in Norway becomes world's tallest timber tower. Acessado em 12 de Fevereiro, 2021, de <https://www.dezeen.com/2019/03/19/mjostarne-worlds-tallest-timber-tower-voll-arkitekter-norway/>
- Canadian Wood Council. (2004). *Energy and the Environment in Residential Construction*(Vol. No 1, Sustainable Building Series).
- Carlisle, S. (2020, 03 de Janeiro). I've been polluting the planet for years. I'm not an oil exec—I'm an architect. *Fast Company*. Acessado em 02 de Abril, 2021, de <https://www.fastcompany.com/90435650/these-are-the-last-years-of-design-as-we-know-it>
- Centre, U. W. (n.d.). Buddhist Monuments in the Horyu-ji Area. Acessado em 15 de Abril, 2021, de <http://whc.unesco.org/en/list/660>
- Eben Lehman on October 15, 2. (2018, October 30). October 15, 1934: Glued Laminated Timber Comes to America. Acessado em 10 de Março, 2021, de <https://foresthistor.org/october-15-1934-glued-laminated-timber-comes-to-america/>
- Equestrian Center. (n.d.). Acessado em 07 de Maio, 2021, de <https://www.carloscastanheira.pt/project/equestrian-center/>
- Fell, D. R. (2010). *Wood in the human environment: Restorative properties of wood in the built indoor environment*(Published doctoral dissertation). University of British Columbia. doi:10.14288/1.0071305
- Finnish Woodworking Industries. (2019). *LVL Handbook Europe*. Acessado em 02 de Maio, 2021, de <https://proofer.faktor.fi/epaper/LVLHandbook/index.html#4>

- Green, M., & Taggart, J. (n.d.). Design and Construction. In *TALL WOOD BUILDINGS DESIGN, CONSTRUCTION AND PERFORMANCE*(pp. 52-57).
- Green, M. (2017). *The case for tall wood buildings: How mass timber offers a safe, economical, and environmentally friendly alternative for tall building structures*. Vancouver, BC: MGA - Michael Green Architecture.
- Herring, D., & Lindsey, R. (2020, October 29). Hasn't Earth warmed and cooled naturally throughout history?: NOAA Climate.gov. Acessado em 20 de Março, 2021, de <https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/hasnt-earth-warmed-and-cooled-naturally-throughout-history>
- History. (n.d.). Acessado em 07 de Janeiro, 2021, de <https://www.huettemann-holz.de/index.php/en/glulam/history>
- Karacabeyli, E., & Douglas, B. (2013). *CLT handbook: Cross-laminated timber*. Pointe-Claire, Québec: FPIInnovations.
- KKAA. (n.d.). Yushuhara Wooden Bridge Museum. Acessado 10 de Abril, 2021, de <https://kkaa.co.jp/works/architecture/yushuhara-wooden-bridge-museum/>
- Knox, A., Parry-Husbands, H., & Pollinate. (2018). *Workplaces: Wellness Wood = Productivity*.
- Kolb, J. (2008). *Systems in timber engineering: Loadbearing structures and component layers*. Basel: Birkhäuser.
- Kuma, K., & Obuchi, Y. (n.d.). *Four Facets of Contemporary Japanese Architecture: Technology*. Lecture presented in University of Tokyo. Acessado em 28 de Abril, 2021, de <https://learning.edx.org/course/course-v1:UTokyoX UTokyo005x 3T2016/block-v1:UTokyoX UTokyo005x 3T2016 type@sequential block@2c96a86761c149df857058f28670014e/block-v1:UTokyoX UTokyo005x 3T2016 type@vertical block@668962643d6a4369bac2dd2ffe6e4753>
- Laguarda-Mallo, M., & Espinoza, O. (n.d.). *Cross-Laminated Timber vs. Concrete/Steel: Cost Comparison Using a Case Study*. Aula apresentada na World Conference on Timber Engineering, Vienna.
- Lehne, J., & Preston, F. (2018). *Making Concrete Change Innovation in Low-carbon Cement and Concrete*(Chatham House Report). Acessado em 07 de Abril, 2021, de <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/2018-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston-final.pdf>
- MAPA Inst. (n.d.). Ways of Prefab-ing [Editorial]. *Inst-Inst-Inst*. Acessado em 20 de Janeiro, 2021, de <https://inst-inst-inst.org>

- NASA Earth Observatory. (n.d.). Global Warming. Acessado em 24 de Março, 2021, de <https://earthobservatory.nasa.gov/features/GlobalWarming/page3.php>
- Prêmio Nacional de Arquitetura em Madeira'15. (2021, March 30). Acessado em 15 de Maio, 2021, de <https://pnam.pt/edicoes-premio/pnam-15/>
- Ravenscroft, T. (2018, March 06). World's tallest timber tower proposed for Tokyo. Acessado em 12 de Fevereiro, 2021, de <https://www.dezeen.com/2018/02/19/sumitomo-forestry-w350-worlds-tallest-wooden-skyscraper-conceptual-architecture-tokyo-japan/>
- Salvatore, D. (2020, December 07). *Arquitetura e Engenharia em Madeira: Conceção e Detalhamento de Estrutura em MLC*. Lecture presented at Escola Coletiva de Projetos.
- Self, R. (2014). *The architecture of art museums: A decade of design: 2000-2010*. New York: Routledge.
- Smedley, T. (2019, July 25). Could wooden buildings be a solution to climate change? Acessado em 13 de Abril, 2021, de <https://www.bbc.com/future/article/20190717-climate-change-wooden-architecture-concrete-global-warming>
- Why The Building Sector? (n.d.). Acessado em 07 de Abril, 2021, de [https://architecture2030.org/buildings\\_problem\\_why/](https://architecture2030.org/buildings_problem_why/)

# ÍNDICE DE IMAGENS

Imagem 1: A imagem contém uma análise da quantidade de CO <sub>2</sub> presente na atmosfera através do tempo, demonstrando um grande acréscimo, principalmente a partir da revolução industrial. (fonte: Luthi, D., et al. 2008; Etheridge, D.M., et al. 2010; Vostok ice core data/J.R. Petit et al.; NOAA Mauna Loa CO <sub>2</sub> record)	6
Imagem 2: O gráfico mostra o histórico da mudança de temperatura do planeta baseada nos dados paleoclimáticos (verde) e os dados recolhidos por instrumentos modernos (azul), sugerindo que a temperatura global atual é a mais alta da história. (fonte: Mann et al., 2008.)	8
Imagem 3: O gráfico demonstra a diferença do impacto ambiental entre projetos em madeira, aço e concreto. Para melhor compreensão dos dados, todos os valores da madeira foram normalizados para 1. (fonte: Canadian Wood Council)	10
Imagem 4: Templo Budista em Horyu-Ji, Japão, considerado uma das edificações sobreviventes de madeira mais antigas do mundo. (fonte: Japan Guide)	11
Imagem 5: Viga em Madeira Lamelada Colada (MLC).	13
Imagem 6: Elemento em Painéis de Lâminas Paralelas.	14
Imagem 7: Exemplo de uma laje em Madeira Lamelada Cruzada.	15
Imagem 8: Processo de produção da MLC desde a colheita da madeira até o envio para a obra. (fonte: Madeira Engenheirada)	16
Imagem 9: Centro Equestre projetado por Carlos Castanheira. (fonte: Carlos Castanheira; crédito: Fernando Guerra)	17
Imagem 10: Museu Centre Pompidou em Metz do arquiteto Shigeru Ban. (fonte: Archdaily; crédito: Didier Boy De La Tour)	18
Imagem 11: Museu Ponte de Madeira Yusuhara do arquiteto Kengo Kuma. (fonte: Archdaily; crédito: Takumi Ota Photography)	19
Imagem 12: Planta de Implantação do Centro Equestre. (fonte: Carlos Castanheira)	21
Imagem 13: Planta baixa do térreo do Centro Equestre. (fonte: Carlos Castanheira)	23

Imagem 14: Planta baixa da cafeteria. (fonte: Carlos Castanheira)	24
Imagem 15: Exemplos de pilares encontrados no projeto (da esquerda para a direita): pilar único, pilar composto em “X”, pilar simples em “Y”, e pilar composto em “Y”. (fonte: Carlos Castanheira; crédito; Fernando Guerra)	25
Imagem 16: Corte mostrando o detalhamento construtivo da estrutura em Madeira Lamelada Colada junto à cobertura. (fonte: Carlos Castanheira)	26
Imagem 17: Planta da estrutura de vigas e barrotes da cafeteria. (fonte: Carlos Castanheira)	27
Imagem 18: Corte longitudinal pela cafeteria. (fonte: Carlos Castanheira)	28
Imagem 19: Planta baixa do térreo. (fonte: Shigeru Ban Architects)	29
Imagem 20: Planta baixa do primeiro pavimento. (fonte: Shigeru Ban Architects)	30
Imagem 21: Planta baixa do segundo pavimento. (fonte: Shigeru Ban Architects)	31
Imagem 22: Planta baixa do terceiro pavimento. (fonte: Shigeru Ban Architects)	32
Imagem 23: Corte através do hall de entrada. (fonte: Shigeru Ban Architects)	33
Imagem 24: Construção da estrutura da cobertura do Centre Pompidou. (fonte: Peri)	33
Imagem 25: Desenho isométrico da malha hexagonal formada por seis camadas de MLC. (fonte: Self, R. (2014). <i>The architecture of art museums: A decade of design: 2000-2010</i> . New York: Routledge.)	34
Imagem 26: Foto de um dos apoios da estrutura da cobertura. (fonte: Centre Pompidou Metz)	35
Imagem 27: Foto do conector hexagonal de madeira que faz a fixação das peças de MLC. (fonte: ADAPT Timber Project)	36
Imagem 28: Planta baixa do piso do Spa. (fonte: KKAA)	37
Imagem 29: Planta baixa do piso da ponte e centro de exposições. (fonte: KKAA)	38
Imagem 30: Planta baixa do piso da rua. (fonte: KKAA)	39
Imagem 31: Fachada Norte. (fonte: KKAA)	39

Imagem 32: Foto do pilar central do Museu Ponte de Madeira de Yusuhara. (fonte: Archdaily; crédito: Takumi Ota Photography)	40
Imagem 33: Diagrama do encaixe das vigas perpendiculares. (fonte: Duan Ni)	41
Imagem 34: Vista interna da ponte de madeira, com a torre do elevador ao fundo. (fonte: KKAA; crédito: Takumi Ota Photography)	42
Imagem 35: Corte construtivo transversal da ponte de madeira. (fonte: KKAA)	43
Imagem 36: Diagrama do processo construtivo da ponte. (fonte: Duan Ni)	44
Imagem 37: Centro de exposições do Museu Ponte de Madeira Yusuhara. (fonte: KKAA; crédito: Takumi Ota Photography)	45
Imagem 38: Malha estrutural da cobertura do Centre Pompidou Metz. (fonte: Shigeru Ban Architects; crédito: Designtoproduction)	47
Imagem 39: Área da cafeteria no Centro Equestre. (fonte: Carlos Castanheira)	48
Imagem 40: Renderização da estrutura da cobertura da Igreja.	49
Imagem 41: Tabela comparativa entre as edificações.	50
Imagem 42: Vista área da área de implantação. (fonte: maps.google.com)	51
Imagem 43: Planta de Implantação	52
Imagem 44: Planta baixa do térreo (nível 65.20m).	53
Imagem 45: Planta baixa do segundo piso.	54
Imagem 46: Planta baixa da praça na cota 71.40m.	55
Imagem 47: Planta baixa da Igreja.	56
Imagem 48: Planta baixa da área do pároco.	56
Imagem 49: Diagrama da estrutura da Igreja.	57
Imagem 50: Planta baixa da estrutura da cobertura.	58
Imagem 51: Conexão entre a viga e o barroto.	59
Imagem 52: Detalhamento construtivo da Igreja.	60

Imagem 53: Produção de um pilar com a mesma capacidade de carga – comparação entre materiais (fonte: Gauzin, Dominique)	61
Imagem 54: Composição das lamelas em uma viga (fonte: Ita Construtora)	62
Imagem 55: Pré-dimensionamento de uma viga bi apoiada de diferentes materiais. (fonte: Ita Construtora)	63
Imagem 56: Detalhamento construtivo da fixação do pilar em MLC na fundação (fonte: Ita Construtora)	64
Imagem 57: Detalhamento construtivo da fixação do pilar em MLC nas áreas secas e molhadas. (fonte: Ita Construtora)	65
Imagem 58: Detalhamento construtivo da fixação da viga em MLC no pilar em MLC. (fonte: Ita Construtora)	66
Imagem 59: Detalhamento construtivo do encaixe da viga em MLC no pilar em MLC, no projeto Nest We Grow. (fonte: KKAA; crédito: Shinkenchiku Sha)	67
Imagem 60: Detalhamento construtivo do encaixe da viga em MLC no pilar em MLC, no projeto Tamedia Office Building. (fonte: Shigeru Ban Architects)	67
Imagem 61: Detalhamento construtivo da fixação do barrote sobreposto na viga. (fonte: Ita Construtora)	68
Imagem 62: Detalhamento construtivo da fixação do barrote com cauda de andorinha. (fonte: Ita Construtora)	68
Imagem 63: Hall de entrada do Wood Innovation and Design Centre, projetado pelo arquiteto Michael Green. (fonte: Michael Green Architecture)	72
Imagem 64: Diagrama que demonstra os sentimentos passados para pessoas por diferentes materiais. (fonte: Workplaces: Wellness Wood = Productivity)	73