

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Marcelo Machado Bruxel

VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA MADEIRA  
LAMINADA CRUZADA EM OBRAS NO RIO GRANDE  
DO SUL

Porto alegre  
Maio de 2021

MARCELO MACHADO BRUXEL

VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA MADEIRA  
LAMINADA CRUZADA EM OBRAS NO RIO GRANDE  
DO SUL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de Graduação  
do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade  
Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção  
do título de Engenheiro Civil

Orientador: José Alberto Azambuja

Porto alegre  
Maio de 2021

## RESUMO

Este artigo visa analisar a possibilidade de utilização de CLT - Madeira Laminada Cruzada em obras civis no estado do Rio Grande do Sul. Dada a crescente preocupação global com o meio ambiente e as mudanças climáticas, o uso de materiais ecologicamente sustentáveis se mostra uma prática necessária e promissora também no âmbito da construção civil. A tecnologia da Madeira Laminada Cruzada, que apresenta vantagens ecológicas é uma alternativa aos métodos de construção mais poluentes. Este material, que recentemente vem sendo utilizado em diversos países, também tem grande potencial de aplicação em empreendimentos no Rio Grande do Sul, adequando-se aos requisitos da metodologia, a análise dos ambientes competitivo, cognitivo, normativo e valorativo.

Palavras-chaves: CLT, madeira laminada cruzada, *cross-laminated timber*, madeira, construção, adequação tecnológica.

## **ABSTRACT**

This article aims to analyze the possibility of CLT (Cross Laminated Timber) application in civil works in the state of Rio Grande do Sul. Given the growing global concern about the environment and climate change, the application of ecologically sustainable materials is promising in many fields, including the construction industry. CLT technology, which presents ecological advantages is an alternative to more polluting constructive methods. This material, which has been recently used in many countries, also shows a great potential to be applied in projects in the state of Rio Grande do Sul, being well adapted to the requirements of the competitive, cognitive, normative and evaluative environments.

Key words: CLT, cross-laminated timber, wood, construction, technological adequacy.

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	6
1.1. O que é o CLT .....	6
1.2. Função estrutural do CLT .....	7
1.3. Função de vedação vertical e separação horizontal do CTL.....	8
1.4. Processo de fabricação de CLT.....	9
2. CLT NO BRASIL .....	11
2.1. Quem fabrica.....	11
2.2. Quais as matérias primas utilizadas .....	12
2.3. Onde está sendo usado .....	12
2.4. Perspectivas futuras .....	12
3. CLT NO RIO GRANDE DO SUL – ANÁLISE DO POTENCIAL DE APLICAÇÃO ..	12
3.1. Estrutura conceitual da análise.....	12
3.2. Ambiente Cognitivo.....	14
3.3. Ambiente Competitivo.....	16
3.4. Ambiente Normativo .....	16
3.5. Ambiente Valorativo.....	17
4. CONCLUSÃO – SOBRE O POTENCIAL DE APLICAÇÃO NO RS.....	18
5. REFERÊNCIAS .....	19

# 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil sempre desempenhou ao longo da história importantes papéis para as sociedades, dentre eles o fornecimento de moradia às pessoas - um direito fundamental do homem. O crescimento das taxas de urbanização e da população mundial são fatores que evidenciam que esse papel continuará tendo suma importância para todos, pois a demanda habitacional mundial só tende a aumentar.

Antes mesmo que o homem contasse com ferramentas de corte e manuseio da madeira, no período mesolítico, ela já tinha seu emprego destinado à construção. Walter Pfeil (2011) afirma que “a madeira é, provavelmente, o material de construção mais antigo, dada a sua disponibilidade na natureza e sua relativa facilidade de manuseio”. Porém, ao longo da história, diversos outros materiais e tecnologias foram desenvolvidos reduzindo o protagonismo inicial que a madeira conquistara: inicialmente, pau a pique (Idade do Bronze), tijolos de barro ou adobe (Idade do Ferro) e os sistemas de construção convencional (Idade Contemporânea) de edificações – que se utiliza de alvenaria, aço e concreto (LOGCABINHUB, 2016).

O mundo enfrenta atualmente o que se convencionou chamar de Crise do Aquecimento Global (IPCC, 2019): a elevação contínua da temperatura média da superfície terrestre a partir da Revolução Industrial, que pode chegar a níveis que causarão o desequilíbrio dos ecossistemas terrestres, inviabilizando ou drasticamente alterando esses ecossistemas e colocando em risco a própria população humana. É consenso entre os cientistas que estudam o clima da Terra, que essa elevação de temperatura é devida aos efeitos de gases cuja concentração aumentou continuamente nos últimos 200 anos. Dentre esses gases, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é dos principais poluentes. Por isso, um dos fatores que mais vem sendo levados em consideração nos sistemas construtivos atuais é a busca por tecnologias sustentáveis. Dado que, atualmente, as estruturas das construções civis usam como principais materiais o aço e o concreto, insumos que em sua produção consomem grande quantidade de energia e emitem mais de meia tonelada de CO<sub>2</sub> para cada m<sup>3</sup> de material produzido (DA COSTA, 2011), outras opções mais ecológicas devem ser levadas em conta nos presentes e futuros projetos.

Uma alternativa que já vem sendo utilizada com sucesso em outros países e que tem expressivo potencial de utilização estrutural na indústria brasileira é a madeira, mais especificamente, as madeiras engenheiradas. A madeira é produzida quando a árvore sequestra o carbono atmosférico para formar sua estrutura. Estima-se que, para cada m<sup>3</sup> de madeira utilizada na construção, é sequestrada aproximadamente 1 tonelada de CO<sub>2</sub> da atmosfera (CECOBOIS, 2016), fazendo com que a madeira seja um material com balanço de CO<sub>2</sub> altamente positivo, ao contrário do aço e do concreto. Dentro deste grupo, o foco deste trabalho é a Madeira Laminada Cruzada (do inglês, Cross Laminated Timber – CLT), material que já possui uma única fábrica nacional e algumas obras em diferentes estados do país.

Além da apresentação dos conceitos desta nova tecnologia, o objetivo deste trabalho é analisar o potencial do seu uso no Rio Grande do Sul utilizando como principal ferramenta o conceito de adequação aos diferentes ambientes onde a tecnologia pretende ser aplicada. Será realizada a análise de adequação aos ambientes competitivo, cognitivo, normativo e valorativo, que serão explicitados mais adiante nesse artigo.

## 1.1. O que é o CLT

O CLT, segundo a Norma Americana (ANSI/APA PRG 320, 2017), é definido como “um produto de madeira engenheirada pré-fabricada feito de pelo menos 3 camadas ortogonais de madeira laminada serrada que são coladas com adesivos estruturais para formar um sólido retangular, moldado para aplicações em telhados, pisos ou paredes”; desta forma, ao contrário

de outras madeiras engenheiradas unidimensionais como Madeira Laminada Colada (MLC ou glulam), o CLT compõe estruturas bidimensionais como painéis/placas. Tal qual se conhece hoje, segundo Brander (2013), o CLT é fruto de um projeto de pesquisa que se iniciou na década de 1990 sobre estruturas compostas lameladas rígidas ou flexíveis (SCHICKHOFER, 1994), já tendo sua produção iniciada em pequena escala antes dos anos 2000. Amplamente considerada pioneira na fabricação de CLT em grande escala, a empresa austríaca KLH Massivholz, foi fundada em 1998. Atualmente, muitas outras fábricas de grande porte já existem, aumentando consideravelmente a produção global de CTL nos últimos anos (Figura 1). Todos os estudos apontam que a demanda mundial por CLT continuará aumentando aceleradamente nos próximos anos.

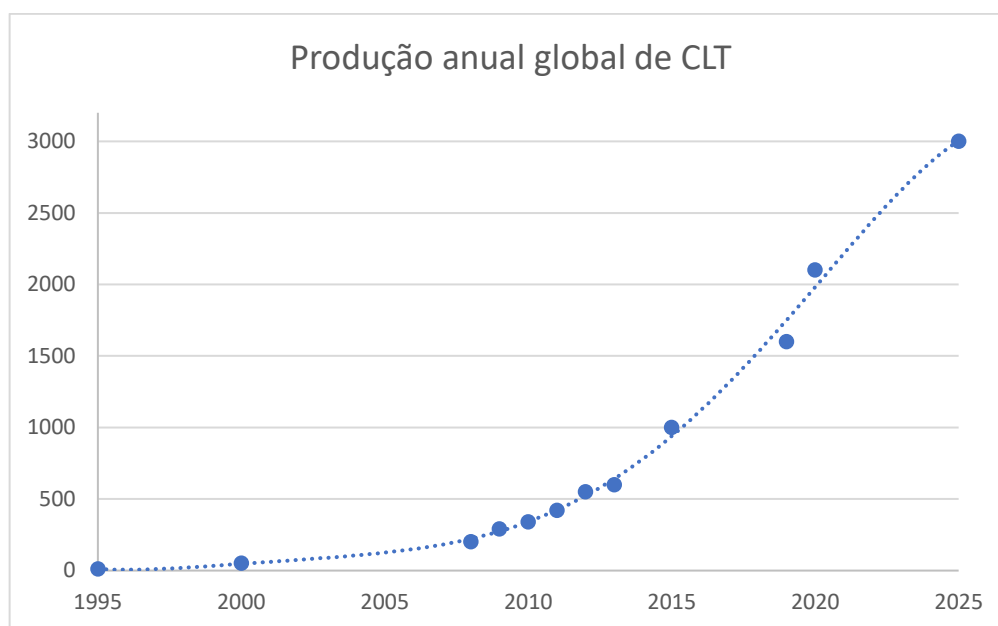


Figura 1: Produção global de CLT em milhares de m<sup>3</sup> desde seu surgimento até a projeção de 2025. Gráfico feito pelo autor. Fonte de dados: MUSZYNSKI (2020).

## 1.2. Função estrutural do CLT

A tecnologia CLT permite que os elementos (painéis de parede e de piso) produzidos com ela tenham função estrutural. Isso se deve basicamente a características específicas dessa tecnologia. A madeira é um material com vários níveis de complexidade, desde o nível atômico até o nível de uma tábua, com seus vários anéis de crescimento anual. Essa complexidade viabiliza um comportamento mecânico bastante favorável ao seu uso estrutural, revelado em propriedades como resistência à compressão, à tração e à flexão. Essas propriedades, embora apresentadas anisotropicamente no material original, são beneficiadas com o uso da disposição ortogonal das lamelas que compõem o painel e proporcionam uma estabilidade dimensional, trabalhando isotropicamente em termos de suportar as cargas em várias direções como um elemento rígido e autoportante (Figura 2).

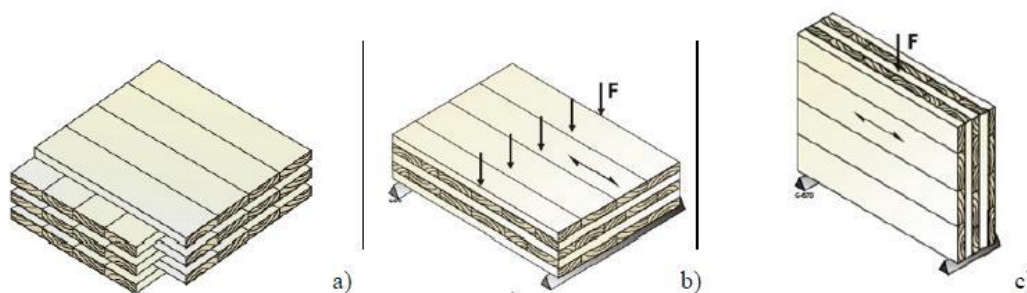


Figura 2: CLT: a) Disposição ortogonal das lâminas de madeira nos painéis de CLT, b) Painel sujeito à flexão no sentido horizontal e c) Painel no sentido vertical. Fonte: Gagnon, 2011.

Outra especificidade que o CLT apresenta é sua alta relação resistência/peso, ou seja, uma tecnologia com bastante esbeltez, reduzindo bastante o peso da edificação; para comparação: 1 m<sup>3</sup> de concreto pesa aproximadamente 2,7 toneladas, enquanto 1 m<sup>3</sup> de CLT pesa 400 kg, proporcionando a mesma resistência à compressão (FRANCO, 2020). Além disso, a madeira apresenta resistência à tração bastante superior ao concreto. O uso estrutural do CLT se restringe às paredes e lajes (de piso ou cobertura), não sendo indicado (sem impermeabilização) na parte da fundação da estrutura, devido à umidade ascensional e à possibilidade de degradação por ataque de microrganismos à madeira. Segundo Alan Dias (2018), não se deve considerar transferência de esforços entre as lâminas das placas de CLT no eixo transversal (tensão e compressão perpendicular às fibras), devido aos inevitáveis espaçamentos pequenos que ocorrem entre uma lâmina e outra. Como os diferentes funções de estrutura que o CLT pode ser empregado, tem-se:

- CLT como estrutura única, usando a lógica do concreto estrutural (paredes e laje);
- Como estrutura convencional de madeira, utilizando pilares e vigas em MLC e CLT como lajes e paredes de contraventamento;
- Em estruturas híbridas, com pilares e vigas em aço e CLT como lajes e paredes de contraventamento;
- Lajes híbridas de concreto, aço e madeira engenheirada (madeira na camada inferior, trabalhando à tração, o concreto armado na camada superior, trabalhando à compressão, e conectores de cisalhamento de aço unindo os dois materiais);
- Lajes “costela” (“*ribs*”) de CLT e MLC (estrutura híbrida na qual vigas de MLC são coladas por baixo dos painéis de CLT para trabalharem à tração, enquanto estes trabalham por cima à compressão);
- Em lajes mista (ou “*wood deck*”), com adição de concreto, que pode ser pré-moldado ou não (nesse caso, o CLT serve de “forma” para a capa de concreto acima e já funciona como acabamento. Com a ausência de elementos de aço unindo os dois materiais, não há interação do concreto com o CLT, ou seja, eles não trabalham juntos estruturalmente).

### 1.3. Função de vedação vertical e separação horizontal do CLT

Além de sua função estrutural, mais inovadora, o CLT também desempenha as funções de vedação vertical e horizontal onde aplicado. Ou seja, os elementos de CLT são utilizados nas funções de paredes externas e internas, pisos térreos e entre andares e lajes de cobertura, sempre



com a devida impermeabilização. Além desses, pode ser utilizado como marquises ou elementos em balanço, sempre que esses elementos tiverem uma geometria bidimensional.

As funções de vedação do CLT são fundamentais para a compreensão do impacto dessa tecnologia em termos de produto e processo. Como produto, a utilização de madeira maciça nas vedações verticais e horizontais implica em um consumo elevado desse material, com repercussão na energia incorporada do edifício, já que essa energia é significativamente menor que aquela utilizada para a produção de concreto, aço ou elementos cerâmicos. Isso ocorre pois o dióxido de carbono gerado na sua produção e transporte também é bastante reduzido em relação aos outros materiais (MANTLE, 2015). Como processo, o CLT permite que todo ele seja automatizado, obtendo-se um produto com alta produtividade de mão de obra e alta qualidade do produto, com precisão milimétrica, facilitando também o processo de montagem, tanto pela leveza dos elementos, quanto pela qualidade de acabamento e precisão de medidas (LEITE *et al*, 2018). Além disso, a madeira suporta impactos bem melhor que o concreto, porque não é um material frágil. A sua flexibilidade também ajuda a absorver impactos acidentais sem sofrer deformações ou danos permanentes. Questões relativas ao desempenho do material quanto às funcionalidades de vedação (isolamento acústico, térmico...) serão comentadas posteriormente.

#### 1.4. Processo de fabricação de CLT

Segundo Oliveira (2018), o processo produtivo dos painéis de CLT se inicia na fase de obtenção da matéria prima principal, a madeira serrada (lamelas) de pinus, oriunda de florestas plantadas (reflorestamento) na região sul do país, a qual deve chegar na fábrica com uma umidade controlada de 10 a 14% após secagem em estufa. Como último passo antes do recebimento das lamelas na fábrica, pode-se ter um tratamento preservativo a fim de garantir mais durabilidade e proteção biológica às peças: borato de cobre cromatado (CCB) aplicado em autoclave. Na ausência desse tratamento, inseticidas óleo-solúveis (como Cipermetrina) são aplicados manualmente com pincel.

Chegando à fábrica, as lamelas são armazenadas e passam por uma inspeção inicial visual (Figura 3), para verificar o tipo de grã da madeira e a quantidade e tamanho de nós e cascas. Essas características afetam o comportamento mecânico da peça, sendo potenciais pontos críticos de esforços, portanto se consideradas prejudiciais devem ser removidas.

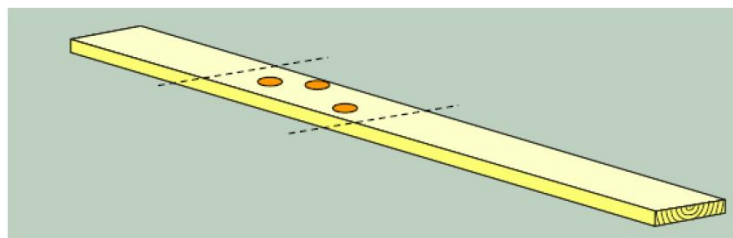


Figura 3: inspeção inicial visual. Fonte: Leite *et al* (2018).

O próximo passo é a execução das emendas das peças (Figura 4), que são dentadas (do tipo *finger joints*), e sua posterior colagem até atingirem dimensão desejada conforme projeto. As lamelas já emendadas são então aplainadas para apresentar uniformidade e passam a ter dimensões padrão de 14 cm de largura por espessuras de 19 mm, 20 mm, 30 mm, 35 mm ou 40 mm. O comprimento tem valor máximo de 12 m para camadas longitudinais e 3 m para camadas

transversais. Devido às tensões de cisalhamento entre as lâminas, a largura das tábuas deve ser maior ou igual a quatro vezes a espessura.

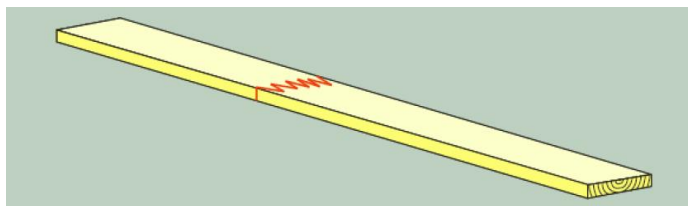


Figura 4: juntas dentadas. Fonte: Leite *et al* (2018).

Nesta etapa, realiza-se a montagem dos painéis. As lamelas então prontas são dispostas lado a lado, formando a primeira camada do painel e o adesivo estrutural é aplicado por aspersão sobre ela; o processo de dispor as lamelas e aplicar a cola se repete, sempre alternado a orientação das lamelas de forma que fiquem perpendiculares às da camada inferior, até atingir o número de camadas desejado – sempre ímpar – entre 3 e 9. As dimensões dos painéis são definidas por projeto, e costumam ser limitadas pelo tamanho da prensa utilizada ou do meio de transporte que a transportará; segundo Silva *et al.* (2016) a largura máxima mede 2,6 m e o comprimento máximo 14 m. Existem três métodos de prensa para a fabricação do CLT: prensas hidráulicas (processo com maior automação, porém não se fabricam peças curvas), prensas à vácuo (aplicável a diferentes formatos, é o método mais econômico) e prensas com sargentos, pregos e parafusos (método 100% manual, sem necessidade de maquinário).

A última etapa do método produtivo é a usinagem: onde os detalhes construtivos do projeto e o acabamento são feitos. Com um uso de uma máquina de alta tecnologia (no caso do Brasil, máquina CNC contando com 5 eixos e 14 ferramentas) e através de um programa pré-definido, o painel é aparelhado nas arestas transversais e longitudinais e aberturas de vãos e furos de passagens para instalações podem ser abertos. Por fim, os painéis prontos são limpos e quando necessários lixados.

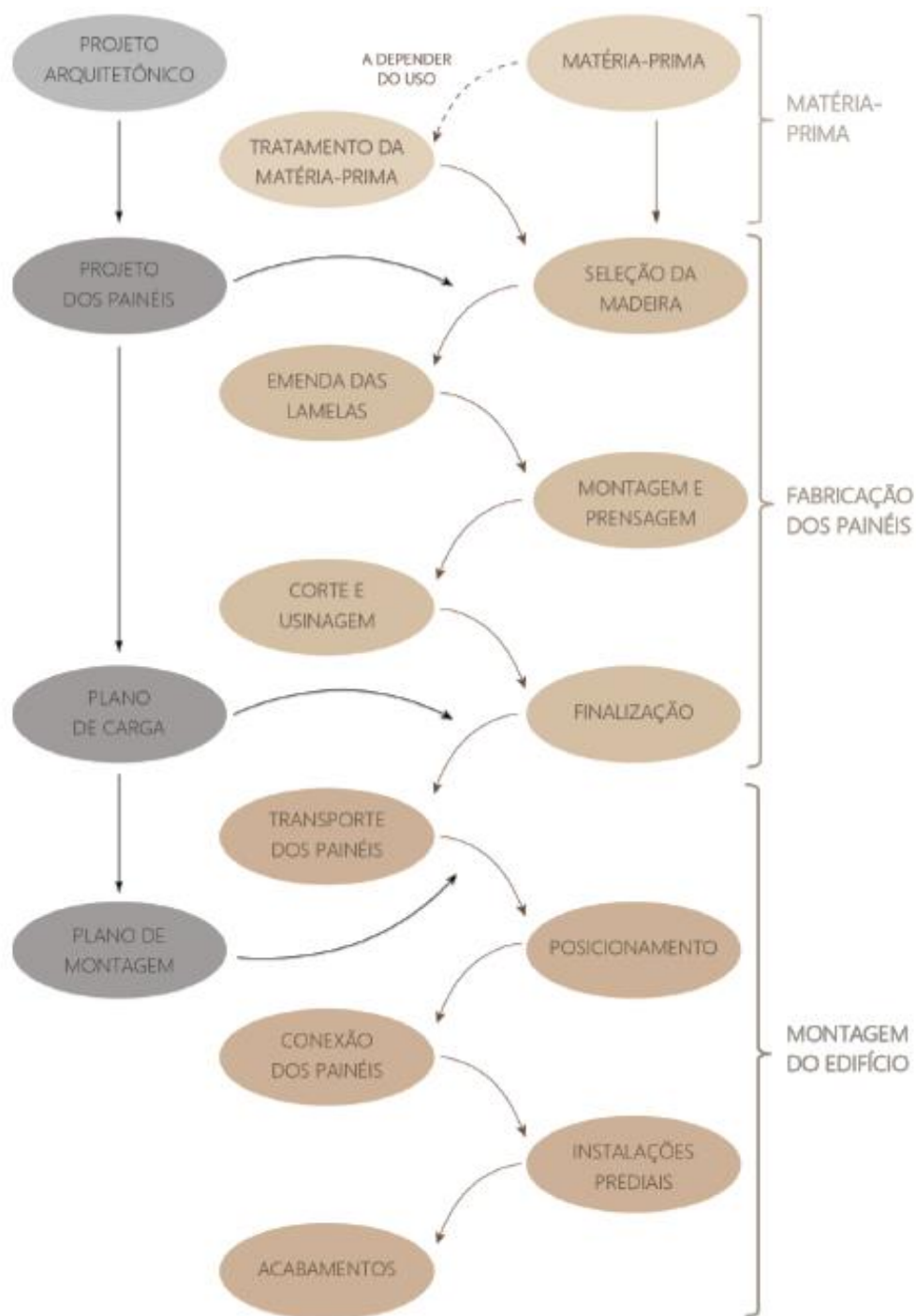


Figura 5: Diagrama ilustrando o processo construtivo do CLT. Fonte: Oliveira (2018).

## 2. CLT NO BRASIL

### 2.1. Quem fabrica

No Brasil, há somente uma empresa que produz CLT, a Crosslam. Segundo entrevista realizada com o engenheiro José Alberto, diretor da Crosslam, a empresa iniciou o processo de desenvolvimento da tecnologia em 2012 e vem, desde então, aperfeiçoando produto e processo. Localizada em Suzano – São Paulo, a Crosslam já realizou mais de 250 obras, entre residências unifamiliares, edifícios residenciais, comerciais e de serviços.

## **2.2. Quais as matérias-primas utilizadas**

Como matérias-primas básicas utilizadas no CLT brasileiro, segundo Dias (2018), tem-se: madeira serrada Pinus Taeda ou Eucaplito Grandis com umidade controlada entre 10% e 14% em peças prismáticas com espessuras entre 12 e 45 milímetros e larguras entre 40 e 300 milímetros, considerando que a largura das tábuas deve ser maior ou igual a 4 vezes à medida da espessura; e o adesivo utilizado para consolidar os painéis, que pode ser o MUF (Melamina-Ureia-Formol), o PUR (Poliuretano Monocomponente) ou o EPI (Emulsificante-Polimero-Isocianato), dependendo do tipo de junta que é feita durante a fabricação.

## **2.3. Onde está sendo usado**

No Brasil, o CLT teve seu primeiro uso em 2012 (uma residência em Tiradentes – MG) e vem deste então fazendo parte de projetos residenciais, modulares, comerciais, industriais e em projetos menores como confecções de móveis e decks. Mais de 30 edificações tem empregado o CLT em sua construção atualmente (considerando não somente o uso estrutural deste), sendo a grande maioria delas obras com apenas 1 ou 2 pavimentos. Segundo Oliveira (2018), no final de 2018, 84% das obras com CLT no país se localizavam no estado de São Paulo. Este autor também afirma que 58% do total das obras corresponde a residências unifamiliares. Ao analisar o início da implantação do CLT na Europa, verifica-se um comportamento inicial similar: alguns anos de predomínio de obras de 1 ou 2 pavimentos, até os prédios com múltiplos pavimentos começarem a serem construídos com a tecnologia.

Como uma obra notável no âmbito do CLT brasileiro tem-se a Loja Dengo: inaugurada no final do ano de 2020 em São Paulo, é o primeiro edifício com 4 pavimentos em CLT do país. Outra obra que virá a ser um marco no uso nacional do CLT, conforme entrevista com o engenheiro da Crosslam Alan Dias, é o Edifício Floresta Urbana da AMATA, com previsão de término em 2022. Será o primeiro do país construído majoritariamente em madeira a contar com 13 pavimentos e 5500m<sup>2</sup> de área construída. Segundo entrevista, Alan Dias, um dos engenheiros ligados ao empreendimento, afirma que a estrutura é “um misto de Glulam (Madeira Laminada Colada), CLT nas lajes, concreto armado nas fundações, subsolos e lajes e aço nas ligações”.

## **2.4. Perspectivas futuras**

Outra fábrica de madeiras engenheiradas está em processo de implantação no momento, a fábrica da AMATA. Com previsão de término no segundo semestre de 2022, planeja-se que esta fábrica tenha capacidade de fornecer CLT brasileiro com qualidade e confiabilidade ao mercado nacional e internacional (projeção de 60.000m<sup>3</sup> por ano de madeiras engenheiradas). Ela se localizará na região sul, sendo assim uma potencial fornecedora de CLT para construções no Rio Grande do Sul. A AMATA é uma empresa nacional que já emprega o CLT em obras no Brasil, através da parceria com a KLH, empresa austríaca líder mundial e precursora da tecnologia CLT.

# **3. CLT NO RIO GRANDE DO SUL – MÉTODO DE ANÁLISE DO POTENCIAL DE APLICAÇÃO**

## **3.1. Estrutura conceitual da análise**

Considera-se que o sucesso de uma tecnologia depende de suas características intrínsecas em termos de produto e processo produtivo, mas também de sua capacidade de ser utilizada em

determinado contexto. Essa capacidade normalmente é chamada de adequação da tecnologia. A análise da adequação de uma tecnologia ao contexto pode ser realizada de diversas maneiras. Dentre as principais ferramentas de análise, podemos citar a Análise PESTEL, a Análise das Cinco Forças de Porter, a Análise de Oportunidade e a Matriz de Ansoff. Faremos, a seguir, uma breve análise do potencial da utilização de cada uma dessas ferramentas. Entretanto, uma análise mais aprofundada será feita sobre a Análise dos Quatro Ambientes porque essa ferramenta foi desenvolvida especificamente para a análise de adequação de novos Produtos de Engenharia em determinado contexto.

A Análise PESTEL, segundo a Universidade de Oxford (2007) considera as seis macro forças que atuam sobre uma organização e o impacto que essas forças têm sobre o sucesso dessa organização. Considerando que a análise PESTEL não é uma análise específica para um produto e sim da organização como um todo, sua aplicação aqui fica reduzida, embora deva-se reconhecer que essas forças têm impacto na análise de adequação do produto e sua análise deve ser parte integrante de uma avaliação completa.

A Análise das Cinco Forças (PORTER, 2005), considera os desafios que uma organização enfrenta em termos de sua competitividade e viabilidade financeira e econômica. Essa análise está voltada especificamente para o Ambiente Competitivo e é, portanto, limitada. Entretanto, sua perspectiva é extremamente importante e deverá ser contemplada na Análise dos Quatro Ambientes, adaptada para uso com foco apenas no produto e não na organização como um todo.

A Análise de Oportunidade considera diversos aspectos do negócio para avaliar o potencial de sucesso de determinada empresa ou produto. Nesse sentido, é bastante abrangente, envolvendo questões relacionadas com as características dos consumidores e competidores, as características do mercado a ser atendido e fatores ligados aos diversos ambientes do negócio (tecnológicos, legais, ambientais, geopolíticos, sociais e culturais). Embora seja uma análise bastante ampla, ela não está voltada especificamente para produtos de engenharia e sua generalidade é suficiente apenas para apresentar uma visão geral de todos os aspectos envolvidos em uma análise de ambientes do produto.

Finalmente, a Matriz de Ansoff (MBA SKOOL TEAM, 2020) considera apenas os aspectos ligados à penetração do produto no mercado, considerando uma matriz com um eixo referindo-se ao mercado (novo ou existente) e outro eixo referindo-se ao produto (novo ou existente). Essa análise coincide parcialmente com a análise considerando os quatro ambientes, mas é mais genérica e não traz a especificidade de produtos tecnológicos (Produtos de Engenharia) que a Análise de Ambientes permite.

A seguir, são apresentadas as análises do produto CLT para os quatro ambientes (Figura 6), considerando a utilização no Rio Grande do Sul. Este método foi desenvolvido pelo doutor José Alberto Azambuja, o qual disponibilizou material via e-mail.

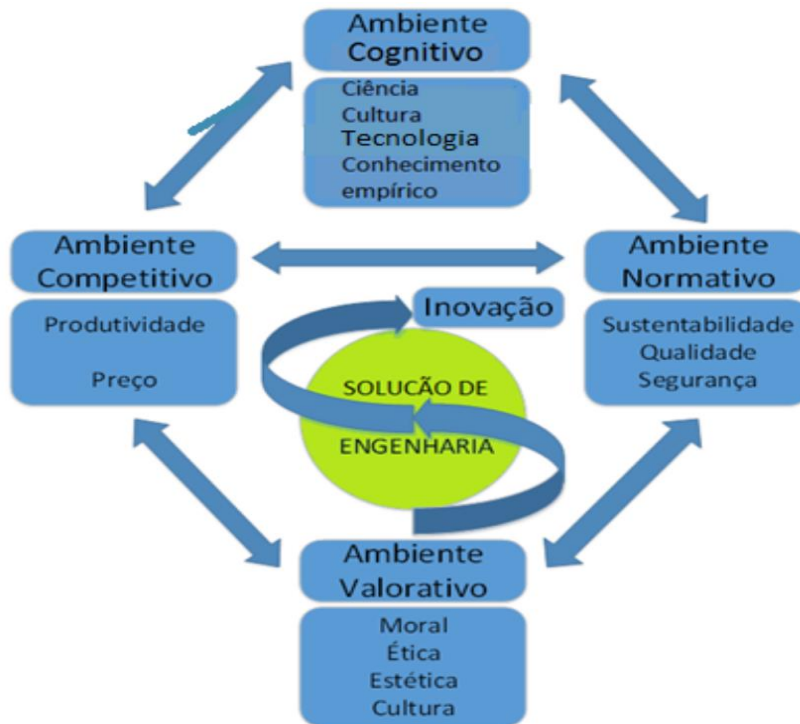


Figura 6: estrutura da Análise dos quatro ambientes. Fonte: Azambuja por e-mail (2021).

### 3.2. Ambiente Cognitivo

Para a análise deste ambiente, temas como ciência, cultura e conhecimento empírico são levados em conta. Apesar de já ser considerada uma tecnologia que se proliferou e se estabeleceu nos mercados Europeu e Norte-Americano, não se tem do CLT um conhecimento empírico de longo prazo – a maioria das obras que a utiliza, principalmente as de grande porte, foram concluídas na última década.

Já no âmbito da ciência, o CLT vem cumprindo na prática com várias premissas teóricas do seu desenvolvimento, seja no seu desempenho normativo (no uso estrutural ou de vedação) seja nas suas vantagens ecológicas. Um exemplo é quando analisamos seu lugar perante os impactos ambientais do meio construtivo, na qual a emissão de gases deletérios ao meio ambiente é um dos principais fatores que deve ser mitigado. Um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), é tratado de forma oposta quando se comparam os métodos de construção convencionais ao CLT. Começando pelo cimento, este é responsável por 8% da emissão mundial de  $\text{CO}_2$  (PRESTON, 2018); no âmbito nacional, tem-se que a produção de 1 tonelada de cimento acaba por gerar em média 536 kg de  $\text{CO}_2$  (BRASIL, 2010). Em contrapartida, o CLT é um material que tem uma emissão “negativa” desse gás, ou seja, considerando toda sua cadeia produtiva e sua vida útil construída, acaba por absorvê-lo (Figura 7). Conforme Cecobois (2016), utilizar 1  $\text{m}^3$  em madeira na construção significa retirar, via fotossíntese, aproximadamente 1 tonelada de  $\text{CO}_2$  da atmosfera. A menor emissão de  $\text{CO}_2$  pode ser notada também durante as fases de transporte e instalação final no canteiro de obra: o material não requer modais pesados de transporte (devido a sua leveza) e emprega menos energia e horas de trabalho na montagem, pois os painéis são facilmente fixados, com alta produtividade (AMARAL, 2017).

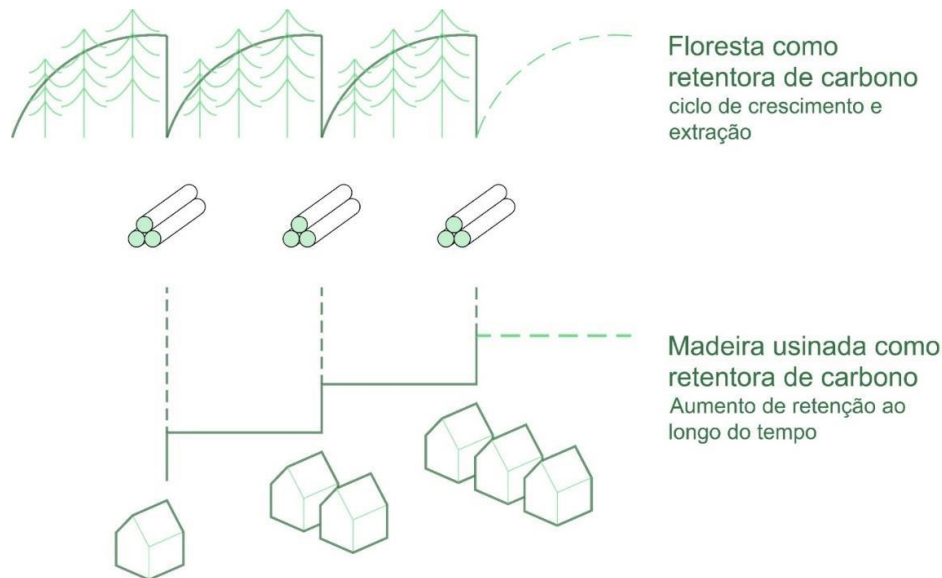


Figura 7: Escala progressiva de armazenamento de carbono em construções com madeira ao longo do tempo. Fonte: Giorgi (2020).

Por último, ao analisar a conhecimento cultural sobre a matéria-prima principal, a madeira, sabe-se que ela é amplamente considerada um dos únicos materiais de fato renováveis empregados com função estrutural na construção civil. Dentre as diferentes espécies de madeiras empregáveis no CLT, a madeira Pinus, atualmente a mais utilizada no CLT nacional, encontra no Brasil um ambiente propício para sua produção e reflorestamento com alta produtividade. Conforme afirma Di Romagnano (2019), no Brasil, os pinheiros do gênero Pinus podem ser cortados em cerca de 18 anos, enquanto na Europa podem precisar de até 80 anos; ainda, segundo o IBA (Instituto Brasileiro da Árvore), o Brasil é o maior produtor mundial de Pinus (IBA, 2019).

Do ponto de vista de conhecimento específico do comportamento estrutural, já existem diversos softwares que permitem dimensionar elementos de CLT. Alguns desses softwares estão disponíveis gratuitamente por empresas produtoras de CLT, visando estimular o uso dessa tecnologia<sup>1</sup>.

Com relação ao comportamento térmico e acústico do CLT, já são bastante conhecidos, graças ao conhecimento acumulado ao longo de séculos sobre a madeira, conforme será discutido no ambiente normativo. Inclusive foram desenvolvidas aplicações específicas de softwares que predizem o comportamento dos edifícios construídos com CLT.

O desempenho do CLT em situações de incêndio também foi alvo de diversos estudos realizados com várias espécies de madeiras, garantindo a segurança desse tipo de estrutura (ÖSTMAN, 2018) tópico que também será mais bem discutido no ambiente normativo.

Vários softwares utilizados no projeto e dimensionamento de estruturas de CLT já são conhecidos dos escritórios de engenharia e arquitetura do estado (por exemplo, o software Calculatis, da empresa Stora Enso). Por outro lado, softwares específicos de dimensionamento não apresentam barreiras próprias, visto que seguem a mesma sequência de dimensionamento de outros softwares de dimensionamento estrutural.

<sup>1</sup> Storaenso.

### 3.3. Ambiente Competitivo

No ambiente competitivo, questões relativas à produtividade da tecnologia, bem como a relação preço x custo desta, são avaliadas. O CLT é uma tecnologia com alta produtividade, seja no processo de fabricação (com o uso de sistemas automatizados e computadorizados), seja no canteiro de obra (com a fácil montagem dos painéis pré-fabricados); quanto aos custos de produção advindos da mão de obra, o CLT apresenta bons resultados devido à menor carga horária de serviço e a baixa qualificação necessária dos funcionários (carpinteiro e ajudantes) (AMARAL, 2017). Já na estimativa de custos de materiais, métodos mais tradicionais como alvenaria de vedação e alvenaria estrutural levam vantagem, dado que requerem materiais que já se encontram em abundante disponibilidade no mercado (TEREZO *et al*, 2020). O custo global, nos dois trabalhos recentes acima mencionados, realizados próximos (Santa Catarina) ao local de análise desse estudo, se mostrou favorável à tecnologia do CLT.

Além dessas estimativas atuais, há ainda fatores futuros que podem influenciar no custo desta tecnologia em obras no RS. Uma delas é a conclusão da fábrica da AMATA em 2022, a qual será a maior fábrica de CLT da América Latina e se localizará também na região sul do Brasil, facilitando o acesso ao material. Outro fator que pode influenciar no custo de utilização do CLT, segundo José Alberto (diretor da Crosslam), é a adaptação de projetos já desenvolvidos (usando outras tecnologias) ao CLT. Nesse caso, dado que o projeto não foi concebido para o uso da madeira engenheirada, ela perde competitividade pela necessidade de adaptação.

Ainda, um aspecto que diferencia o CLT da maioria de outros métodos construtivos é a alta tecnologia empregada na sua fabricação usual, a qual automatizada. Assim como as estruturas de concreto pré-moldado, os painéis de CLT já chegam prontos no canteiro de obra, só necessitando das ligações metálicas aparafusadas para fixação; porém, como costuma ser fabricado a partir de máquinas CNC (comando numérico computadorizado), que contam com diversos eixos e ferramentas diferentes, o CLT apresenta precisão de décimo de milímetros na hora do corte. Esta usinagem dos painéis é realizada conforme o projeto, o qual já deve contar com todos os furos de instalações elétricas e hidráulicas. A alta precisão do corte também acaba por reduzir a quantidade de resíduos gerados bem como a necessidade de recortes e ajustes na obra, reduzindo também nesse aspecto o custo final e aumentando a produtividade de mão de obra e equipamento.

Por último, é importante frisar que o custo monetário do CLT não reflete o total benefício que o usuário e a sociedade terão ao empregar esta tecnologia. Esta diferença, chamada de externalidade, segundo Azambuja (2013), significa que parte do custo (ou, inversamente, do benefício) do uso de um material não foi pago (ou, inversamente, usufruído) pelo usuário, mas pela sociedade como um todo. No caso do CLT, observa-se que sua utilização traz externalidades positivas, dado seus aspectos ecológicos. Portanto, a comparação simples do custo de produção entre o CLT e outros métodos mais tradicionais se torna rasa. Uma alternativa possível é a inclusão de medidas por parte de governos que internalizem para o custo de materiais, como o concreto e o aço, as externalidades negativas geradas por estes. Também é possível que o governo permita a internalização das externalidades positivas do CLT, através de programas de incentivos públicos como já ocorreu em países como Canadá, França, e Japão por exemplo (ALBEE, 2019).

### 3.4. Ambiente Normativo

No ambiente normativo, os aspectos avaliados são referentes à qualidade e à segurança que a tecnologia oferece, devendo cumprir os requisitos presentes em normas. A primeira norma relacionada ao CLT começou a ser implantada em 1998, na Europa, e já foi atualizada (EN



16351) algumas vezes para o Código Europeu. Nos projetos brasileiros, dado que não existe uma NBR (Norma Brasileira Regulamentadora) sobre CLT, deve-se projetar baseado na norma Europeia ou na Canadense, cumprindo com as NBRs de desempenho.

A tecnologia do CLT apresenta, em diferentes aspectos, alto desempenho de serviço onde é empregada. Contrariando o senso comum, esta madeira engenheirada possui um comportamento perante o fogo com bons resultados: resistência de 57 minutos em um painel de 5 camadas e 178 minutos em um painel de 7 camadas (SILVA *et al*, 2016). Esta queima lenta ocorre pois o CLT, cria uma camada superficial de carvão que isola o núcleo do painel das temperaturas altas, mantendo até 85% da sua capacidade estrutural. Quanto ao conforto térmico do CLT, pôde-se notar superioridade em relação ao método convencional de construção conforme estudo recente próximo ao RS (FRANÇA *et al*, 2019). Em relação ao desempenho acústico, segundo Zenerato (2019), os painéis de CLT brasileiros cumprem com os requisitos normativos acústicos mínimos brasileiros: em certas circunstâncias (ambientes urbanos onde existe fonte de ruídos intensos) o painel simples (de até 120 mm) não se aplica, pois obteve resultado de 34 dB, devendo-se utilizar um painel mais espesso. Já quanto às vibrações, estas devem ser consideradas quando se está projetando vãos grandes (superiores a 4 m), pois a vibração excessiva é um fator crítico no dimensionamento de serviço destes casos (VILELA, 2020); questão, no entanto, que pode ser amenizada com o uso de camadas superficiais anti-impacto.

Com relação ao cumprimento de desempenho térmico, o RS não é uma localidade com clima crítico ao CLT em relação às temperaturas e à umidade. Os países nos quais o CLT já vem sendo aplicado há anos apresentam em sua maioria clima continental, com temperaturas mínimas mais extremas que as do RS. Em relação ao conforto acústico nas obras do RS, deve-se atentar aos centros urbanos, locais fontes de ruídos mais intensos.

Do ponto de vista das normas voltadas para a preservação ambiental, uma vantagem que o CLT possui em relação aos demais materiais construtivos é o fato de ele ser biodegradável (acelerada decomposição quando descartado) e de ter a possibilidade de reutilização e reciclagem, seja no final do processo de produção ou nas etapas intermediárias da cadeia produtiva (BARBOSA *et al*, 2000).

Os resíduos gerados no processo de usinagem do CLT – pó de serra, cavacos e cepilhos – podem ser reaproveitados para compostagem e complemento de ração animal. Peças que sobram no processo de fabricação dos painéis CLT podem ser reaproveitadas para fabricação de outros componentes como degraus e guarda-corpos, assim como, para fabricação de mobiliário”. (LEITE *et al*. 2018).

Ainda, no sistema convencional de construção, toneladas de resíduos são gerados e a maioria acaba por não ser reciclado: segundo Lawson (1996), somente 5% dos resíduos sólidos de construção na Europa são reciclados. A reutilização de materiais advindos de construções feitas a partir do sistema convencional é um processo mais trabalhoso, dado que o concreto, o aço ou a alvenaria se encontram rigidamente fixados, dificultando um retrabalho não destrutivo; ao contrário do que ocorre nos painéis de CLT, que contam com ligações que podem ser desfeitas de modo não destrutivo, ou até mesmo ser reutilizada uma estrutura modular por inteira.

### **3.5. Ambiente Valorativo**

Neste ambiente, ainda conforme o Método de Azambuja, o que se leva em conta são fatores relacionados à moral e ética da tecnologia, bem como sua aceitação cultural e estética. Nestes 2 últimos pontos, pode-se verificar uma frequente utilização e apreço da madeira como um

método construtivo no RS, que começou durante o período colonial italiano e alemão (entre séculos XIX e XX). Conforme Posenato (2004), nos primeiros povoados aproximadamente 85% das moradias e quase 100% das estruturas anexas eram compostas de madeira, e nos povoados, mais novos a madeira foi o material quase exclusivo. Nas construções de enxaimel, por exemplo, o tramado de madeira fica exposto: estética característica da cultura germânica desse período e símbolo de conforto até hoje. Assim, uma vantagem que o CLT tem para com os outros materiais concorrentes é o aspecto estético diferenciado que a tecnologia dispõe. Além das vantagens citadas de desempenho funcional, aspectos econômicos e externalidades ecológicas positivas, a marca mais explícita do uso do CLT em um empreendimento ocorre quando o material é utilizado no acabamento, sem revestimentos sobrepostos.

Entretanto, a receptividade do CLT em mercados relativamente conservadores pode ser um processo vagaroso, não somente pela pouca idade da tecnologia, mas também porque na cultura local do RS há um receio com o uso habitacional da madeira, principalmente relacionado ao risco de incêndio e ao ataque de insetos como os cupins. Por outro lado, o acabamento amadeirado, ao mesmo tempo que internamente pode ser apreciado pela sensação de conforto e acolhimento que a madeira traz, externamente evidencia para todos de que se trata de uma estrutura verde, atraindo o olhar de quem a desconhece e divulgando a tecnologia, trazendo um significado ético ambiental a essa tecnologia.

Ainda em relação à moral e ética da tecnologia, o CLT possui alta receptividade em ambientes que prezam pela utilização de tecnologias sustentáveis, questão que vem sendo debatida com muita relevância nos últimos anos; nesse quesito, a inclusão do CLT no mercado gaúcho iria ao encontro das diretrizes ecológicas atuais.

#### **4. CONCLUSÃO – SOBRE O POTENCIAL DE APLICAÇÃO NO RS**

O desenvolvimento de tecnologias sustentáveis é algo imprescindível no espectro global atual em diversos âmbitos. Na construção civil, uma alternativa mais verde aos métodos convencionais de construção é o CLT, material que já vem sendo utilizados em diversos outros países e que no Brasil tem sido experienciado na última década. A recente construção do primeiro prédio brasileiro de CLT com 4 pavimentos, bem como a breve conclusão de uma mega fábrica nacional com esta tecnologia são marcos instigantes à sociedade brasileira, que elevam a tecnologia a um patamar promissor.

Em relação ao potencial de aplicação no RS, a tecnologia do CLT encontra um cenário receptivo na maioria dos aspectos analisados. As regionalidades climáticas e ambientais não são obstáculos para que o CLT siga com seu desempenho padrão, dado que seu uso originário e mais frequente se dá em locais com climas mais adversos. No aspecto cultural, a madeira tem uma longa história de emprego na construção civil gaúcha e sua estética é valorizada em diferentes regiões do estado. Na esfera do mercado, o material demonstra também viabilidade devido aos custos competitivos comparados aos métodos convencionais de construção. Se em algum aspecto o CLT fica limitado nesta análise de oportunidade é devido ao conservadorismo no estado, por se tratar de uma tecnologia com pouca idade, que pode não ter um rápido alastramento inicial.

Por fim, este artigo buscou, além da análise do uso potencial, propagar os aspectos inovadores que o CLT possui bem como o contexto de sua produção e utilização, dado que vem demonstrando ser um material com bons resultados para o seu usuário e com externalidades positivas para toda sociedade. O notável avanço do seu uso em outros países do mundo propicia um futuro com mais dados empíricos de seu desempenho e instiga que outras pesquisas sejam feitas para aprimorá-lo ainda mais.

## 5. REFERÊNCIAS

- ALBEE, R. R. **Global Overview of the Cross-laminated Timber Industry**. Oregon State University, 2019.
- AMARAL, R. S; ROSA, T. O; TEREZO, R. F. **Estimativa de custos e desempenho de painéis em madeira laminada colada cruzada**. 2017.
- ANSI/APA - The Engineered Wood Association. **Standard for Performance Rated Cross-Laminated Timber PRG 320-2017**. ANSI/APA, Tacoma, WA. 2012.
- AZAMBUJA, J. A. **Incompatibilidade entre o paradigma atual da construção e princípios de sustentabilidade: proposição de um novo paradigma**. 2013.
- BARBOSA, J.; INO, A.; SHIMBO, I. **Indicadores de sustentabilidade na cadeia produtiva de habitação em madeira de reflorestamento**. Em: VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, v. I, p. 181, 2000.
- BRANDNER, R. **Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report**. 2013.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). **Relatório de referência. Emissões de Gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais. Produtos Minerais. Parte I: Produção de Cimento**. Disponível em: [www.mct.gov.br/upd\\_blob/0228/228962.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0228/228962.pdf), Brasília, 2010.
- CENTRE D'EXPERTISE SUR LA CONSTRUCTION COMMERCIALE EN BOIS (CECOBOIS). **Un mètre cube de bois évite l'émission de 1,1 tonne de CO2 si on le substitue à d'autres matériaux**. Disponível em: <http://www.cecobois.com/materiau-bois-etanalyse-cycle-de-vie>. Acesso em out. 2016;
- DA COSTA, B. L. de C. 2012. **Quantificação das emissões de CO2 geradas na produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil**.
- DIAS, A. 2018. **Madeira Laminada Cruzada (CLT): Produção e desenvolvimento**.
- DI ROMAGNANO, L. F. T. **Madeira na construção**. 2019. Disponível em [www.ipt.br/centros\\_tecnologicos/CT-FLORESTA/noticias/1568-madeira\\_na\\_construcao.htm](http://www.ipt.br/centros_tecnologicos/CT-FLORESTA/noticias/1568-madeira_na_construcao.htm)
- FRANÇA, M. E; BOGO, A. J. **Avaliação de conforto ambiental comparativa em edificações construídas em madeira laminada colada cruzada (Painéis CLT) e em sistemas construtivos tradicionais**. 2019.
- FRANCO, J. T. A. **Madeira Laminada Cruzada (CLT) é o concreto do futuro?** [¿Es la mader laminada cruzada (CLT) el hormigón del futuro?] 03 Ago 2020. ArchDaily Brasil. Trad. Souza, Eduardo). Acessado 3 Mai 2021. <https://www.archdaily.com.br/br/922665/a-madeira-laminada-cruzada-clt-e-o-concreto-do-futuro>
- GAGNON, S; PIRVU, C. **CLT handbook: cross-laminated timber**. FPInnovations Québec, 2011.
- GIORGI, R. de S. N; QUIRINO, V. A; MEIRELLES, C. R. M. **Contexto para a utilização da madeira como sistema estrutural em edifícios habitacionais**. 2020.
- IBA (Industria Brasileira da Árvore). **Relatório 2019**. pp 6.
- IMPrensa DA UNIVERSIDADE DE OXFORD. 2007. **PESTEL analysis of the macro-environment**.
- IPCC. 2019. **Global warming of 1.5°C**.

- LAWSON, B. 1996. **Building Materials Energy and Environment – towards ecologically development**. University of New South Wales, Australia, 123p.
- LEITE, T. M; SÁNCHEZ, J. M; BLUMENSCHNEIN, R. 2018. **O processo produtivo de painéis estruturais em cross laminated timber: potencialidades e desafios de implantação na construção civil brasileira**.
- LOGCABINHUB. 2016. **Living with Wood: From the Beginning of Time Infographic**. Disponível em <https://www.logcabinhub.com/living-with-wood-from-the-beginning-of-time>. Acesso em: 2021-05-16.
- MANTLE. 2020. **Understanding Embodied Carbon & Net Zero Carbon Construction**.
- MBA SKOOL TEAM. 2020. **Ansoff Matrix**.
- MUSZYNSKI, L; Larasatie, P; Guerrero, J; Albee, R; Hansen, E. 2020. **Global CLT industry in 2020: Growth beyond the Alpine Region**.
- OLIVEIRA, G. L. **Cross Laminated Timber (CLT) no Brasil: processo construtivo e desempenho. Recomendações para o processo do projeto arquitetônico**. 2018. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. doi:10.11606/D.16.2019.tde-09012019-144057. Acesso em: 2021-05-04.
- ÖSTMAN, B; SCHMID, J; KLIPPEL, M; JUST, A; WERTHER, N; BRANDON, D. 2018. **Fire design of CLT in Europe**. Wood and fiber science: journal of the Society of Wood Science and Technology. 50. 10.22382/wfs-2018-041.
- PFEIL, W. **Estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: LTC, 2011, p. 1.
- PORTER, M. E. **Estratégia Competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- POSENATO, J. **A Arquitetura do Norte da Itália e das Colônias Italianas de Pequena Propriedade no Brasil**. IN Martins, Neide Marcondes & Bellotto, Manoel Lelo. Turbulência cultural em cenários de transição: o século XIX ibero-americano. EdUSP, 2004. p. 82-83.
- PRESTON, F; LEHNE, J. **Making Concrete Change Innovation in Low-carbon Cement and Concrete**; Chatham House, The Royal Institute of International affairs: London, UK, 2018.
- SILVA, C. A; CHIRINÉA, M. L. B; BARROS, M. M. S. B. **Cross Laminated Timber (CLT): Uma tecnologia viável no Brasil?** In: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC, pp. 5467-5477, 2016.
- TEREZO, R. F; BOURSCHEID, C. B; SAMPAIO, C. A. de P. **Comparação do custo de produção de painel CLT produzido artesanalmente com outros materiais de construção convencionais**. 2020.
- UNECE/FAO. 2015. **Rise in global production of CLT** (UNECE/FAO Forest products Annual Market Review 2014-2015/Institute of Timber Engineering and Wood Technology, Graz University of Technology 2015).
- VILELA, R. **Desempenho estrutural de placas de cross laminated timber submetidas à flexão**. 2020.
- ZENERATO, T. S. **Desempenho acústico do cross laminated timber (CLT)**. 2019.