**UTILIZAÇÃO DE MADEIRA ALTERNATIVA NO PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE UMA VIGA EM MLC**

***José das Graças Picanço de Souza Júnior***

Engenheiro Civil – engpicanco@yahoo.com.br

**RESUMO**

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar o uso de madeiras alternativas provenientes da floresta amazônica para confecção de madeira laminada colada (MLC) utilizando a espécie Louro-Vermelho (Nectandra Rubra) por meio da utilização de cálculos e procedimentos estabelecidos pela NBR 7190/97. Através da pesquisa bibliográfica realizada constatou-se trabalhos realizados com o mesmo intuito de desenvolver a ideia de utilizar de forma sustentável madeira proveniente de regiões tropicais na fabricação de MLC, estes comprovaram por meio de ensaios laboratoriais seus objetivos, porém nenhum dos mesmos utilizaram de cálculos de pré-dimensionamento para aplicação do material estudado. Em seguida as relações de pesos específico e flecha admissível de uma viga de madeira laminada colada produzida com Louro-Vermelho (Nectandra Rubra) foram comparadas com o mesmo pré-dimensionamento de uma viga aço estrutural e concreto armado afim de determinar as principais diferenças encontradas. Os resultados indicam que a viga pré dimensionada possui peso específico muito baixo –cerca de 20kg- em relação ao aço -115kg- e ao concreto armado -120kg- e possui flecha admissível bem maior que o aço – madeira 2,9 cm e aço 1,61 cm- o que demonstra o ótimo desempenho e elasticidade da viga de MLC produzida com madeira alternativa. Verificou-se que os resultados práticos obtidos apresentaram boa concordância e servem para comprovar os objetivos determinados contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região amazônica e servindo de ponta pé inicial para novos estudos que venham ampliar o uso desse sistema estrutural inovador e pouco difundido em nosso país.

**Palavras Chave**: Desenvolvimento Sustentável. Cálculo comparativo. Madeira Laminada Colada.

**INTRODUÇÃO**

Necessita-se de um melhor aproveitamento dos recursos naturais provenientes da Floresta Amazônica; com a disseminação dos conceitos de manejo sustentável e comercialização de material certificado, cada vez menos é praticado a exploração seletiva e predatória, que conduziu à dizimação de diversas espécies de uso.

Estruturas de madeira possuem qualidades excelentes, vantagens construtivas como rapidez e facilidade de montagem devido ao baixo peso específico de cada componente, beleza arquitetônica, baixo custo, alto grau de industrialização, além de ser o sistema construtivo menos agressivo ao meio ambiente.

Consideradas as múltiplas possibilidades de uso, vem ganhando cada vez mais espaço no mercado internacional, com reflexos imediatos na construção civil brasileira, o emprego de elementos estruturais de madeira laminada colada (MLC), solução compatível para uma vasta gama de problemas estruturais, solução ainda que fornece uma grande alternativa ao desenvolvimento sustentável.

A pesquisa realizada neste trabalho tem como objetivo geral demonstrar o uso de madeiras da Amazônia como matéria prima na fabricação de madeira laminada colada (MLC), levando ao leitor deste uma visão diferente de aplicações de madeira em construção civil. Tem ainda como objetivos específicos, justificar a necessidade de utilizar madeiras provenientes da Floresta Amazônica na fabricação de MLC; mostrar as vantagens da utilização da MLC como alternativa sustentável de sistema estrutural e demonstrar através de cálculos a aplicação de madeiras provenientes da Floresta Amazônica na utilização de Madeira Laminada Colada.

Visando contribuir para o desenvolvimento de pesquisas que tenham como objeto de estudo parâmetros de projeto do ponto de vista arquitetônico e estrutural, este trabalho identifica a madeira laminada colada fabricada com madeira da Amazônia, como um produto de grande potencial para a pré-fabricação de elementos construtivos.

1. **MADEIRA LAMINADA COLADA**

Entre os inúmeros produtos obtidos da madeira, é possível citar os painéis, sejam eles de fibras orientadas (OSB), de fibras de média densidade (MDF) ou os painéis de lâminas paralelas (LVL). Além destes materiais industrializados à base de madeira, a madeira laminada colada (MLC) deve ser observada com atenção especial, devido a suas propriedades extremamente favoráveis na execução de uma construção racionalizada e sustentável (Granato, 2011).

 Entende-se por Madeira Laminada Colada (MLC), as peças de madeira, reconstituídas a partir de lâminas (tábuas), que são de dimensões relativamente reduzidas se comparadas às dimensões do produto final, figura 11. Essas lâminas são unidas por colagem, e são dispostas de tal forma que as suas fibras estejam paralelas entre si. A madeira laminada colada é o produto estrutural de madeira mais importante nos países da Europa e América do Norte. A madeira selecionada e cortada em laminas, de 15 mm a 50 mm de espessura, que são coladas sob pressão, formando grandes vigas, em geral de seção retangular (Pfeil, 2003).

Figura 1 – Esquema de uma viga de MLC



Fonte: Campos (2014).

As estruturas de MLC foram idealizadas na Europa, posteriormente se popularizaram nos Estados Unidos juntamente com a industrialização das madeiras e das colas (Callia, 1958).

Antes da colagem as laminas sofrem um processo de secagem em estufa, que demora de um a vários dias, conforme o grau de umidade inicial. A madeira sai da estufa com uma unidade máxima de 15%. As especificações limitam a variação do grau de umidade das laminas entre si, não devendo ultrapassar 5% na ocasião da colagem, a fim de controlar tensões internas devidas a retração diferencial (Pfeil, 2003).

1. **MADEIRAS DA FLORESTA AMAZÔNICA COMO MATÉRIA PRIMA DA MLC**

É possível se utilizar praticamente todo tipo de madeira em estruturas em MLC, porem algumas possuem características físicas e químicas que exigem o uso de colas especiais. As espécies mais aconselhadas são as coníferas, com massa volumétrica entre 0,40 e 0,75 g/cm³, e devem ser evitadas as madeiras com alta taxa de resina ou gordura. As espécies mais usualmente aplicadas na MLC são Louro-Vermelho, Louro-Canela, Eucalipto, Angelin, Cerejeira, Muiracatiara e Pinus pois são as espécies que mais se encaixam no perfil necessário para a utilização do MLC.

Há mais de quatro mil espécies de madeira na Floresta Amazônica, mas apenas uma fração é considerada de interesse comercial. Isto é explicado por algumas razões:

* Excelente desempenho das espécies de uso consagrado;
* Grande disponibilidade destas espécies nas regiões da floresta que foram inicialmente exploradas;
* Poucas informações disponíveis sobre o potencial da utilização das chamadas espécies alternativas, substituindo as espécies tradicionais.
1. **DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE MADEIRA SEGUNDO NBR 7190/97**

Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997) algumas expressões são usadas para dimensionamento de vigas em madeira:

A tensão resistente de projeto *fd* de uma peça de madeira é calculada pela equação seguinte, escrita em termos de tensão:

$fd=kmod\frac{Fk}{Ym}$

A resistência característica *Fk* é obtida por meio de ensaios padronizados de curta duração (entre 3 e 8 min) em corpos de prova isentos de defeitos, com grau de umidade padrão igual a 12% (Pfeil, 2003). Na tabela 1 verificamos a relação fk/fm.

Tabela 1 – Relação fk/fm entre as resistências características e média e o valor do coeficiente yw

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Esforço | fk/fm | ym |
| Compressão paralela às fibras | 0,7 | 1,4 |
| Tração paralela às fibras | 0,7 | 1,8 |
| Cisalhamento paralelo às fibras | 0,54 | 1,8 |

Fonte: Adaptado de NBR 7190 (ABNT, 1997).

Em geral estes modelos de cálculo de tensões ou esforços solicitantes consideram o material linear, isotrópico, sem defeitos. A presença de defeitos origina concentração de tensões reduzindo a resistência, particularmente a tração e ao cisalhamento paralelo as fibras. A madeira laminada colada, por ter em seu processo de fabricação a eliminação de defeitos, torna-se material ideal para situações de alta resistência (Pfeil, 2003).

O coeficiente kmod que ajusta os valores da resistência característica em função da influência de diversos fatores na resistência da madeira, é obtido pelo produto:

 $kmod=kmod1 x kmod2 x kmod3$

Onde:

*kmod 1*: leva em conta o tipo de produto de madeira empregado e o tempo de duração da carga

*kmod 2*: considera o efeito da umidade

*kmod 3*: leva em conta classificação estrutural da madeira.

Para considerar o efeito do tempo de duração da carga sobre a resistência são definidas classes de carregamento. Uma certa combinação de ações é, então, classificada em função da duração acumulada prevista para a ação variável tomada como base da combinação (Pfeil, 2003).

Exceção é feita as combinações normais de ações, as quais são classificadas como de longa duração, mesmo se a ação principal for uma ação de curta duração como o vento, por exemplo. Nestes casos, a maior resistência da madeira à ação de curta duração é considerada através da redução do seu valor por um fator multiplicador igual a 0,75 (Pfeil, 2003).

Quadro 1 – Classes de carregamento

|  |  |
| --- | --- |
| Classe | Período acumulado de tempo de atuação da carga variável de base de uma combinação de ações |
| Permanente | Vida útil da construção |
| Longa duração | Mais de 6 messes |
| Média duração | 1 semana à 6 meses |
| Curta duração | Menos de 1 semana |
| Duração instantânea | Muito curta |

Fonte: Adaptado de NBR 7190 (ABNT, 1997).

O fator *kmod1*, é definido de acordo com a classe de carregamento da combinação de ações para a qual estão dimensionando a estrutura e conforme o tipo de produto de madeira utilizado, conforme Tabela 2 (Pfeil, 2003).

Tabela 2 – Valores do coeficiente kmod 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Classe de carregamento da combinação de ações** | **Madeira serrada, madeira laminada colada, madeira compensada** | **Madeira recomposta** |
| Permanente | 0,6 | 0,3 |
| Longa duração | 0,7 | 0,45 |
| Média duração | 0,8 | 0,65 |
| Curta duração | 0,9 | 0,9 |
| Duração instantânea | 1,1 | 1,1 |

Fonte: Adaptado de NBR 7190 (ABNT, 1997).

Para considerar o efeito do grau de umidade nas propriedades de resistência da madeira, são definidas classes de umidade como verificamos na Tabela 3 (Pfeil, 2003).

Tabela 3 – Classes de umidade

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Classe de umidade** | **Umidade relativa do ambiente Uamb** | **Grau de umidade da madeira (equilibrio com o ambiente)** |
| 1 (padrão) | ≤ 65% | 12% |
| 2 | 65% < Uamb ≤ 75% | 15% |
| 3 | 75% < Uamb ≤ 85% | 18% |
| 4 | 85% < Uamb durante longos períodos | ≥ 25% |

Fonte: Adaptado de NBR 7190 (ABNT, 1997).

Os valores atribuídos pela NBR 7190 ao coeficiente kmod 2, em função do tipo de produto de madeira utilizado e da classe de umidade verifica-se na tabela 4 (Pfeil, 2003).

Tabela 4 – Valores do coeficiente kmod 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Classe de Umidade** | **Madeira serrada, madeira laminada colada, madeira compensada** | **Madeira recomposta** |
| 1 e 2 | 1 | 1 |
| 3 e 4 | 0,8 | 0,9 |

Fonte: Adaptado de NBR 7190 (ABNT, 1997).

Como os valores de resistência característica são obtidos de ensaios em corpos-de-prova sem defeitos é preciso ajustá-los através do coeficiente kmod 3 em função da categoria estrutural da madeira utilizada (tabela 5). A norma NBR 7190 define duas categorias: 1ª e 2ª categorias (Pfeil, 2003).

Tabela 5 – Valores do coeficiente kmod 3

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Produto de madeira** | **Tipo de madeira** | **Categoria** | **kmod 3** |
| Serrada | Dicotiledôneas | 1ª categoria | 1 |
| 2ª categoria | 0,8 |
| Coníferas | 1ª ou 2ª categoria | 0,8 |
| Laminada e colada | Qualquer | 1ª e 2ª categoria - peça curva | 1,0 - 2000( r/t)² |
| 1ª e 2ª categoria - peça reta | 1 |
| t = espessura da lâmina; r = raio de curvatura mínimo |

Fonte: Adaptado de NBR 7190 (ABNT, 1997).

Da mesma forma que a norma europeia EUROCODE 5, a norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997) introduziu o sistema de Classes de Resistencia para simplificar a especificação do material na fase de projeto (Pfeil, 2003).

Com um sistema de classes de resistência o projetista não precisa estar a par da diversidade de espécies de madeira e suas resistências características de cada região do país: ele simplesmente adota uma dentre um número limitado de Classes de Resistencia, adequada ao seu projeto. Por outro lado, o fornecedor de madeira deve enquadrar seu produto em uma dessas classes, de acordo com as exigências especificadas no item 9.6 da NBR 7190 (ABNT, 1997) (Pfeil, 2003). Pode-se verificar as classes através das tabelas 6 e 7.

Tabela 6 - Classes de resistência das madeiras duras (dicotiledôneas). Valores das propriedades referidas à condição padrão de umidade (U=12%)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Classes** | **fck (MPa)** | **fvk (MPa)** | **Ec,m (MPa)** | **ρbas,m (kg/m³)** | **ρaparente (kg/m³)** |
| C20 | 20 | 4 | 9.500 | 500 | 650 |
| C30 | 30 | 5 | 14.500 | 650 | 800 |
| C40 | 40 | 6 | 19.500 | 750 | 950 |
| C60 | 60 | 8 | 24.500 | 800 | 1000 |

Fonte: Adaptado de NBR 7190 (ABNT, 1997).

Tabela 7 - Classes de resistência das madeiras macias (coníferas). Valores das propriedades referidas à condição padrão de umidade (U=12%)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Classes** | **fck (MPa)** | **fvk (MPa)** | **Ec,m (MPa)** | **ρbas,m (kg/m³)** | **ρaparente (kg/m³)** |
| C20 | 20 | 4 | 3.500 | 400 | 500 |
| C25 | 25 | 5 | 8.500 | 450 | 550 |
| C30 | 30 | 6 | 14.500 | 500 | 600 |

Fonte: Adaptado de NBR 7190 (ABNT, 1997).

Nas verificações de segurança (Estados Limites Últimos) em que os esforços solicitantes dependam da rigidez da madeira, adota-se valor efetivo do modulo de elasticidade na direção das fibras *Ecef* calculado como (Pfeil, 2003):

 $Ecef=kmod1 x kmod2 x kmod3 x Ec $

 Onde Ec é o valor médio do módulo de elasticidade obtido de ensaios de compressão paralela as fibras.

Os valores de deslocamentos verticais limites prescritos pela NBR 7190 (ABNT, 1997) estão indicados na tabela 8 abaixo. Para estruturas correntes deseja-se garantir as condições de utilização normal da construção e seu aspecto estético. Para isto, admite- se uma combinação de ações de longa duração (Pfeil, 2003).

Tabela 8 - Valores limites de deslocamentos verticais segundo a norma NBR 7190

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Construções correntes | **Ações a considerar** | **Deslocamentos calculados** | **Deslocamentos limites** |
| Permanentes + variáveis em combinação de longa duração | Em um vão l entre apoios | l/200 |
| Em balanço de vão lb | lb/100 |
| Construções com materiais frágeis não-estruturais | Permanentes + variáveis em combinação de média ou curta duração | Em um vão l entre apoios | l/350 |
| Em balanço de vão lb | lb/175 |
| Variáveis em combinações de média ou curta duração | Em um vão l entre apoios | l/300 ≤ 15mm |
| Em balanço de vão lb | lb/150 ≤ 15mm |

Fonte: Adaptado de NBR 7190 (ABNT, 1997).

Para uma viga sujeita à flexão em torno de um eixo principal de inercia, as tensões normais de bordo devem atender as seguintes condições (Pfeil, 2003):

σcd ≤ fcd

σtd ≤ ftd

As tensões solicitantes de projeto nos bordos comprimido e tracionado são calculadas pela conhecida expressão da Resistencia dos Materiais (Pfeil, 2003):

$σd= \frac{Md}{W}$

Onde W é o módulo de resistência à flexão do bordo considerado e Md é o momento fletor de projeto (Pfeil, 2003).

1. **METODOLOGIA**

Dado a abordagem escolhida, foi realizada uma pesquisa exploratória com o intuito de aprimorar novas ideias ou descobertas que venham salientar a necessidade da exploração intensificada do uso de madeira originada de manejos florestais da região amazônica como matéria prima para confecção de vigas em MLC. Contribuindo para a implantação de um sistema estrutural com bastantes benefícios para a região.

ROCCO LAHR, 1992 conduziu experimentos sobre tais espécies, visando sua utilização em elementos estruturais de MLC. Mesmo assim, o trabalho desse autor se restringe à determinação de algumas propriedades de rigidez, sem possibilidade de se chegar a uma generalização dos resultados.

ZANGIÁCOMO, 2003 estudou quatro espécies de madeiras tropicais para o uso em madeira laminada colada. A espécie que apresentou melhor compatibilidade dentre as características desejadas para o uso em MLC foi o cedrinho (*Erisma sp*). O autor montou vigas compostas por laminas classificadas e foram confeccionadas de forma aleatória e não-aleatória. Observou-se que as propriedades de rigidez das vigas com distribuição não- aleatória podem apresentar propriedades de rigidez superiores às de vigas montadas com distribuição aleatória. Entretanto, estudando quatro espécies tropicais para uso em MLC, constatou-se conveniente utilizar pressão de colagem de 1,6 N/mm² na confecção dos corpos-de-prova para determinação da resistência das emendas à tração.

TELES, 2009 observou que a qualidade e eficiência da adesão do adesivo resorcinol-formaldeído são influenciadas pela gramatura utilizada, existindo a tendência do aumento da resistência da junta colada com o aumento da gramatura do adesivo. Dessa forma, indicou o uso da gramatura de 300 g/m², a qual apresentou resultados satisfatórios e iguais estatisticamente à maior gramatura avaliada. O uso da inclinação do bisel igual a 1:10, apesar de apresentar maior desperdício de material, e certa dificuldade de execução, é indicada para o uso em vigas de MLC e a madeira de louro vermelho é indicada para o uso em vigas de madeira laminada de boa qualidade, apresentando propriedades de resistência e de rigidez influenciadas pela rigidez das lâminas que as compõem.

SZUCS E TEREZO, 2010 concluiu que a madeira proveniente do Paricá possui grande potencial para utilização na produção de MLC, pois possui boa aderência com o adesivo e, por ser uma madeira de baixa densidade, proporciona vigas de baixa relação, peso resistência – peso específico. Em relação às emendas dentadas a madeira de Paricá também obteve bons resultados e mostra com isso que vigas de comprimentos consideráveis de MLC podem ser construídas.

Os autores acima citados utilizaram de ensaios laboratoriais para testificar o uso de madeira proveniente da região amazônica como matéria prima do MLC. Foram feitos ensaios que constataram a aplicabilidade desse método construtivo, porém nenhuma dessas pesquisas utilizaram cálculos para dimensionamento de peças de MLC.

1. **CÁLCULO EXPEDITO PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO**

Dimensionar uma viga biapoiada de madeira laminada colada sujeita a combinações normais de ações com valor de 4,1 kN/m, conforme figura 2.

Determinar a tensão resistente de projeto à tração paralela às fibras, figura 3, sabendo-se que será utilizada como matéria prima da confecção da viga o louro-vermelho e o local da construção tem umidade relativa do ar média igual a 85%.

Figura 2 – Viga biapoiada



Fonte: O Autor (2018).

Figura 3 – Tração paralela às fibras



Fonte: O Autor (2018).

A madeira a ser adotada para o cálculo foi o Louro-Vermelho por ter apresentando propriedades de resistência e de rigidez de boa qualidade para confecção de vigas em madeira laminada colada, segundo Teles, 2009.

LOURO-VERMELHO
Nome científico: Nectandra rubra (Mez) C. K. Allen, Lauraceae.

Outros nomes populares: canela-vermelha, gamela, louro, louro-canela, louro-gamela, louro-mogno, louro-rosa.

Nomes internacionais: determa, grignon franc, grignon rouge, louro vermelho (ATIBT,1982), red louro (BSI,1991), red wood, wana, wane.

Ocorrência:

Brasil: Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia;

Outros países: Guiana, Guiana Francesa, Suriname.

PROPRIEDADES FÍSICAS

Densidade de massa (ρ):

Aparente a 15% de umidade: 770 kg/m³;

Básica: 642 kg/m³

PROPRIEDADES MECÂNICAS

*Flexão:*

Resistência (fM):

Madeira verde: 71,5 Mpa

Madeira a 15% de umidade: 93,9 MPa

Limite de proporcionalidade - Madeira verde: 28,0 MPa;

Módulo de elasticidade - Madeira verde: 10032 Mpa

*Compressão paralela às fibras:*

Resistência (fc0):

Madeira verde: 35,6 MPa

Madeira a 15% de umidade: 49,5 MPa

Coeficiente de influência de umidade: 4,1 %;

Limite de proporcionalidade - Madeira verde: 23,8 MPa;

Módulo de elasticidade - Madeira verde: 16161 Mpa

Outras propriedades:

Resistência ao impacto na flexão - Madeira a 15% (choque): 15,7

Cisalhamento - Madeira verde: 8,5 MPa

Dureza janka - Madeira verde: 3079 N

Tração normal às fibras - Madeira verde: 6,9 MPa

Tração paralela às fibras - Madeira a 12% de umidade: 73,2 Mpa (TELES,2009)

Resultados foram obtidos de acordo com NBR 6230/85 (IPT,2015).

A partir dos dados acima obtém-se o valor médio da resistência à tração paralela às fibras referida à condição padrão de umidade.

$fm=73,2 MPa$

O cálculo da resistência característica é feito com o coeficiente de variação 18% de acordo com a tabela de variação estatística dos resultados de ensaios de peças isentas de defeitos (ASTM D2555, 1992).

$ftk=0,70fm$

$ftk=0,70.73,25=51,24 MPa$

Se a combinação de ações é normal, então a viga estará sujeita a um carregamento de longa duração e sendo a madeira laminada colada, tem-se:

$kmod1=0,70$

Em termos de umidade, a condição de serviço da estrutura se enquadra na Classe 3 e, portanto:

$kmod2=0,80$

Sendo o louro-vermelho produzido em madeira laminada colada, tem-se:

$kmod3=1,0$

A partir dos dados obtidos, obtém-se a tensão resistente de projeto de:

$ftd=kmod\frac{Ftk}{Ym}$

$$ftd=0,7.0,8.1\frac{51,24}{1,8}$$

$$ftd=15,94 MPa=1,594 dan/cm²$$

Para determinação da altura necessária da viga primeiro admite-se que sua espessura será de 6cm, logo após deve-se calcular o momento da carga distribuída e através das condições de segurança **σtd ≤ ftd** achar a altura necessária:

Momento da carga distribuída:

$qd=4,1 . 1,4=5,74 kN/m$

 $Md=\frac{qdl²}{8}$

$$Md=\frac{5,74.5,8²}{8}$$

$Md=24,13 kN.m=2.413,67 kN.cm$

Tensão atuante: $σtd= \frac{MdY}{Ix}$

$$σtd= \frac{2413,67\frac{h}{2}}{6\frac{h³}{12}} σtd=\frac{2143,67h}{2}\frac{12}{6h³} σtd=\frac{2143,67}{h²}$$

$σtd\leq ftd$

$$\frac{2143,67}{h²}\leq 1,594 1,594h^{2}\geq 2413,67 h\geq  √\left(\frac{2413,67}{1,594}\right)$$

$h \geq 38,91cm h≅40cm$

VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO (FLECHA)

Módulo de Elasticidade Efetivo:

$Ecef=kmod1 x kmod2 x kmod3 x Ec $

$$Ecef=0,70 x 0,80 x 1,0 x 16161=9.050,16 MPa$$

Verificação da flecha na direção X:

$Ix= \frac{bh³}{12} Ix= \frac{6.40³}{12}=32000cm4$

$fadm= \frac{l}{200} fadm=2,9cm$

$$flechax= \frac{5ql4}{384EI} flechax= \frac{5.4,1.5804}{384.90501,6.32000}$$

$flechax=2,08cm$

$Peso=b.h.ρ Peso=0,06.0,40.770=18,5kg/m$

1. **COMPARAÇÃO COM OUTROS TIPOS DE MATERIAIS**

Realizando mesmo princípio de cálculo afim de verificar-se seção, flecha admissível e peso da estrutura; para aço e concreto armado, tem-se:

AÇO ASTM A-36:

$$fadm= \frac{l}{360} fadm=1,61cm$$

$$flechax= \frac{5ql4}{384EI} I= \frac{5ql4}{384Eflechax}$$

$$I= \frac{5.4,1.5804}{384.205000.1,61}I=18.304,37cm4$$

Analisando a tabela de perfis estruturais fabricados pela Gerdau, encontra-se o perfil W250x115,0 com seção de 27x26cm e peso de 115kg/m

CONCRETO ARMADO:

Utilizando de concreto de 20Mpa para equivaler a classe de resistência da madeira louro-vermelho (C20), têm-se:

Adotando espessura mínima para viga de 12cm determinada através da NBR 6118 (ABNT, 2014), momento máximo calculado Mk = 2413,67 kn.cm e coeficiente yf = 1,4. Utilizando a tabela de J.S.Giongo temos kc = 4,7 então:

$$d=\left(\frac{kc.γf.Mk}{bw}\right)^{1/2}                    d=\left(\frac{4,7.1,4.2413,67}{12}\right)^{1/2}$$

$$d=36,37cm$$

$$d≅37cm \left(adotado\right)+cobrimento de 3 cm=40cm$$

$$Peso=b.h.ρ$$

$Peso=0,15.0,40.2500=120kg/m$

Para mesma carga distribuída e mesmo vão entre apoios temos uma viga de concreto armado com seção de 15x40 cm e peso de 120kg/m.

1. **RESULTADOS**

A viga de MLC utilizando como matéria prima o Louro-Vermelho, apresenta bons resultados em seu pré-dimensionamento possuindo uma pequena seção (6x40cm) e peso próprio com cerca de 20kg/m:

Figura 4 – Modelo da viga



Fonte: O Autor (2018).

A viga de aço ASTM A-36 utiliza perfil metálico laminado W250x115,0 com seção de 27x26cm e peso próprio de 115kg/m.

A viga de concreto armado com fck de 20Mpa tem seção de 12x40 cm e peso próprio de 120kg/m.

1. **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Foi descrito as vantagens e fomentado um sistema estrutural em material sustentável que já é muito difundido em países do hemisfério norte. Não resta dúvida de que o Brasil tem plenas condições de se tornar um grande produtor de peças industrializadas de madeira, especialmente a madeira laminada colada. O país possui matéria prima em abundância a um preço extremamente competitivo, a tecnologia e as técnicas de produção são dominadas por alguns produtores e poderiam ser facilmente difundidas tendo em vista que são relativamente simples.

Apesar de no Brasil não existir uma norma exclusiva para madeira laminada colada, as orientações presentes na NBR 7190 englobam as principais atividades e procedimentos necessários para o dimensionamento do MLC. As normas estrangeiras possuem mais detalhes quanto à fabricação do MLC, porém quanto ao dimensionamento possuem apenas algumas considerações de segurança a mais que a norma brasileira.

Após uma comparação rápida através de um dimensionamento não muito criterioso entre uma viga produzida com MLC e vigas de aço e concreto armado é possível demonstrar algumas vantagens de se usar MLC como material estrutural.

A viga de MLC utilizando como matéria prima o Louro-Vermelho, apresenta bons resultados em seu pré-dimensionamento possuindo uma pequena seção (6x40cm) e peso próprio com cerca de 20kg; para atender mesma carga e vão em uma viga de aço deve-se usar perfil metálico laminado cerca de 6 vezes mais pesado que a madeira, por mais que a seção do perfil metálico não cause muito impacto o seu peso próprio gera uma grande carga para fundações ou pavimentos inferiores o que aumentaria custos para execução do projeto; o mesmo podemos dizer do concreto armado que mesmo sem verificar a flecha admissível já possui uma seção volumétrica grande influenciando no pé direito de projetos arquitetônicos.

Além das vantagens construtivas que a viga em MLC demonstrou, temos as vantagens ambientais por se tratar de um material que utiliza de fontes renováveis para uso de sua matéria prima de produção, o Louro-Vermelho é uma madeira proveniente de muitos manejos florestais e não necessita de grande desenvolvimento de seu tronco para ser usado na confecção do MLC.

O preço da utilização da MLC é muito elevado, porém o que mais eleva o preço do produto final é a matéria prima, cola de alta resistência e mão de obra especializada, através das pesquisas realizadas foi comprovado que madeiras da região amazônica podem ser usadas como matéria prima o que reduz o custo de se utilizar madeira importada na confecção do MLC e a cola de alta resistência à base de mamona desenvolvida por pesquisadores da Universidade de São Carlos em São Paulo, são itens que podem reduzir este preço consideravelmente.

Por fim, este trabalho atinge seus objetivos demonstrando vantagens da utilização do MLC como modelo estrutural abrindo caminhos para pesquisas que venham aprofundar e reforçar os resultados encontrados. Por se tratar de um material proveniente da floresta que não utiliza de grandes recursos para sua fabricação, torna-se um método construtivo ideal para o desenvolvimento sustentável de regiões onde habitam povos da floresta bem como do restante da população.

**REFERÊNCIAS**

ALVES, F. L., et al. **Madeira Laminada Colada (MLC)**. PATO BRANCO, 2012.

### AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.**(ASTM) D3737-05**. Prática padrão para o Estabelecimento Propriedades admissível para estrutural colada madeira laminada. Genebra, (2002).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 6118:** Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento, Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 7190**: Projeto de Estruturas de Madeira, Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

CALIL JUNIOR, C. **Utilização da madeira nas construções rurais**. 1997. São Paulo.

CALIL JUNIOR, C. ET AL. **Estudo de emendas dentadas em madeira laminada colada (mlc): avaliação de método de ensaio** **– NBR 7190/1997**. (São Carlos, 1999). Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/pdf/cee7.pdf>. Acesso em 22 de abril de 2012.

CALIL JUNIOR, C; MOLINA, J. C. **Coberturas em estruturas de madeira: exemplos de cálculo**. PINI, São Paulo, 2010.

CALIL NETO, C. **Madeira laminada colada (MLC): controle de qualidade em combinações espécie-adesivo-tratamento preservativo**. Dissertação (Mestrado Interunidades) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, São Carlos, 2011.

CARPINTERIA. DISPONIVEL EM: <<http://www.carpinteria.com.br/>>. Acesso em: 03 de mar. de 2015.

CARRASCO, Edgar V. M; OLIVEIRA, Ana L. C. **Analise do comportamento de vigas mistas de madeira laminada colada e concreto**. Belo horizonte, 2003.

CHAHUD, E.; ROCCO LAHR, F. A. **Estudo da viabilidade do emprego de arcos de madeira laminada para estruturas principais de pontes**. São Carlos, 1983.

CHUGG, W. A. **Glulam: the theory and pratice of the manufacture of glued laminated timber structures**. LONDON, 1964.

CORREIA, Emanuel A. S. **Análise e dimensionamento de estruturas de madeira**. Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2009.

DIAS, A. A.; ROCCO LAHR, F. A. **Brazilian Tropical Timbers: Alternative Suggestions for Supplying European Economical Community**. In: Encontro da Sociedade Portuguesa de Materiais, Portugal, 1999.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EUROCODE 5, 1996 disponível em: http://www.cen.eu/Pages/default.aspx. Acesso em 2015.

GRANATO, A. F. **Aspectos tecnológicos da fabricação de elementos estruturais de madeira laminada colada**. UFSC, São Carlos, 2003.

IPT – Instituto de pesquisas tecnológicas. **Informações sobre madeiras**. Disponível em: <http://www.ipt.br/consultas\_online/informacoes\_sobre\_madeira/busca>. Acesso em 12 de abr. de 2015.

IPT. **Manual da madeira – uso sustentável**. São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.sindusconsp.com.br/downloads/prodserv/publicacoes/manual\_madeira\_uso\_sustentavel.pdf>. Acesso em 22 de abr. de 2012.

MACÊDO, A. N. (1996). **Madeiras tropicais da Amazônia em madeira laminada colada (MLC)**. São Carlos, 1996.

MATERIAL DE CONSTRUÇÃO MADEIRA. **ESTRUTURAS DE MADEIRA,** UFPR 2008. PARANÁ

MEIRELLES ET AL. **CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DA MADEIRA NO BRASIL EM CONSTRUÇÕES HABITACIONAIS**. II FÓRUM DE PESQUISAS FAU MACKENZIE SÃO PAULO 2007.

PFEIL, W., PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**. 6ª edição. LTC, Rio de Janeiro/RJ, 2003.

PINTO, E. M. **A Madeira: um Material Construtivo Resistente ao Fogo**,São Carlos, 2004. Disponível em: <http://www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art\_27/madeira.html>. Acesso em: 12 de abr. de 2015.

Portal da Madeira. **Vantagens e desvantagens da MLC**. Disponível em: <http://portaldamadeira.blogspot.com.br/2008/12/vantagens-e-desvantagens.html>. Acesso em 22 de abr. de 2012.

ROCCO L. F. A. **Características da madeira de trinta espécies nativas da Amazônia**. São Carlos: EESC-USP, no prelo. (Tabela A1 - Fonte VI). 1992.

 ROCCO, F. A., SALES, A. **Materiais Derivados de Madeira: Processos e aplicações**: USP, São Carlos, 1998.

STACHERA JR, THEODOZIO. **Avaliações de emissão de co2 na construção civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no paraná**. XXVIII encontro nacional de engenharia de produção, Rio de Janeiro, 2008.

SZÜCS, C. A. **Madeira lamelada colada** **- MLC**. Disponível em: <http://portaldamadeira.blogspot.com.br/2010/03/madeira-lamelada-colada-mlc.html>. Acesso em 22 de abr. de 2012.

TEIXEIRA, M. D. M., et al. **Caracterização de espécies de madeira com potencialidade para a tecnologia da MLC – Madeira Laminada Colada**. UFPA, Belém, 2003.

TELES, R. F. **Propriedades tecnológicas de vigas de madeira laminada colada produzidas com Louro Vermelho (Sextonia Rubra)**. UFB, Brasília/DF, 2009.

TEREZO R. F.; SZÜCS C. A. **Análise de desempenho de vigas em madeira laminada colada de parica (Schizolobium Amazonicum Huber ex. Ducke)**. Piracicaba, 2010.

UNOCHAPECÓ, W. ET AL. **Madeira laminada colada**. 2015

WAHRHAFTIG, A et al. **Estrutura de madeira laminada colada**. Téchne, 2007. Disponível em: <<http://www.bv.fapesp.br/namidia/noticia/8754/estrutura-madeira-laminada-colada/>>. Acesso em 12 de abr. de 2015.

Wikipédia, **Ponte vechio**, Itália. Disponível em: <http://it.wikipedia.org/wiki/Ponte\_Vecchio\_(Bassano\_del\_Grappa)>. Acesso em 02 de jun. de 2015.

Woodarchitecture, **Ponte vihantalsami**, Finlândia. Disponível em: <<http://www.woodarchitecture.fi/fr/projects/le-pont-en-bois-de-vihantasalmi>>. Acesso em 02 de jun. de 2015.

ZANGIACOMO, A. L. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada**. UFC, São Carlos, 2003.