

# COMPARATIVO DE SUBSTITUIÇÃO ENTRE VIGAS DE CONCRETO POR VIGAS DE MADEIRA

Bruno Rodrigues de Moraes<sup>1</sup>

Geisla Aparecida Maia Gomes<sup>2</sup>

## RESUMO

Este trabalho realizou, inicialmente, uma investigação teórico-conceitual através da revisão bibliográfica selecionada, por artigos científicos publicados, documentos e livros, para averiguar o uso do material de madeira nas construções nacionais. Além disso, buscou entender os motivos da utilização da madeira na construção civil e a falta do uso, ao observar a abundância do material presente em território brasileiro, considerando principalmente a madeira de reflorestamento. Diante disso, um projeto em construção residencial na cidade de Campanha, Minas Gerais, foi selecionado para realização da comparação e substituição das vigas de concreto, atualmente utilizadas na obra, pelas vigas em madeira, a fim de demonstrar a qualidade da dimensionalidade do uso do material madeira na mesma edificação. Ao final deste estudo, foi possível analisar a vantagem da madeira como vigas úteis na construção civil nacional, para que estudiosos da área da engenharia civil observem e acessem a madeira com mais frequência, considerando possibilidades e vantagens de utilização em projetos futuros.

**Palavras-chave:** Cálculo. Dimensionamento. Madeira. Material. Uso.

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material que tem sido utilizado para diversas finalidades, tanto de caráter funcional como estrutural, para habitações, também como acabamento em diversas construções civis desde os primórdios da humanidade. Existem, no Brasil, diversos tipos de madeira de reflorestamento que podem ser utilizadas no processo de construção de uma obra,

---

<sup>1</sup> Bruno Rodrigues de Moraes, graduando em Engenharia Civil pelo Grupo Unis, [bruno.morais@alunos.unis.edu.br](mailto:bruno.morais@alunos.unis.edu.br)

<sup>2</sup> Geisla Aparecida Maia Gomes, Engenheira Civil pelo Grupo Unis (2014) e Matemática pela Unincor (2000), professora e orientadora do curso de Engenharia Civil Grupo Unis. [geisla.gomes@professor.unis.edu.br](mailto:geisla.gomes@professor.unis.edu.br)

como o Eucalipto, por exemplo, que pode ser encontrado com maior disponibilidade em relação às demais espécies, além de permitir fácil manuseio por especialistas. (AFLALO, 2017).

Além de versátil, a madeira, principalmente no Brasil, segundo Aflalo (2017), é um material abundante e de fácil acesso, porém, sua aplicação como principal utilização estrutural não é bem quista nacionalmente. Pode-se dizer que esse é um aspecto cultural brasileiro, pois a madeira é considerada um material combustível e de fácil acesso a agentes biológicos, menos resistente, e durável a longo prazo, que outros sistemas construtivos comumente utilizados (AFLALO, 2017).

Ao longo dos últimos anos, muitas pesquisas têm sido realizadas a respeito das espécies de madeira, para maior utilização nos sistemas construtivos, buscando suas propriedades e novas descobertas, meios de proteção e aumento da durabilidade do material, a fim de demonstrar o quanto o senso comum brasileiro pode estar equivocado. Diante disso, segundo Silva (2018), ao contrário do aço e do concreto, a madeira não é um material que acarreta grandes prejuízos ao meio ambiente. Pode ser considerada sustentável estruturalmente, pois é um material renovável e, durante o processo da construção civil, não gera poluição quando comparado aos demais materiais estruturais (SILVA, 2018).

Para a construção civil em madeira, necessita de mão-de-obra qualificada na execução da edificação, pois o profissional em madeiramento deve possuir conhecimentos de escoramento, de medidas e encaixes da madeira roliça, porém não é difícil encontrar especialistas, mesmo sendo uma estrutura perigosa de ser efetivada (BRITO, 2010).

Assim, este trabalho pretende demonstrar a eficiência econômica do uso da madeira roliça e apresentar maiores possibilidades do uso do material, considerando também que grande parte das construções com peças roliças no país não possuem projetos e cálculos que visem melhor aproveitamento das propriedades da madeira. Além de, comparar a substituição de vigas de concreto por vigas de madeira em um projeto específico, selecionado para este estudo, a fim de averiguar a utilização do material de madeira.

Portanto, esta pesquisa pretende avaliar a influência que um dimensionamento adequado do uso das vigas em madeira, mesmo que em hipótese, em uma construção em andamento na cidade de Campanha/MG, como uma excelente alternativa para a execução da obra, considerando o projeto arquitetônico.

Dessa forma, foi possível investigar as comparações possíveis, considerando os cálculos para a construção de uma residência realizada em alvenaria estrutural, ao transformar a situação das vigas de concreto pela substituição da madeira, mesmo que em

teoria, neste trabalho, como alternativa na execução da mesma obra. Assim, foi analisada a planta e os cálculos atuais, do projeto em construção na cidade de Campanha/MG, a fim de averiguar como seria a utilização da madeira na obra, através do dimensionamento das vigas apresentando os cálculos.

Visto que a configuração arquitetônica da obra escolhida para comparação nesta pesquisa foi realizada em alvenaria convencional, e as vigas, material deste estudo, em concreto, além de outros materiais de apoio, surgiu a possibilidade de realização dos cálculos utilizando a mesma planta arquitetônica. Assim, o madeiramento é considerado para execução da aplicação, como substituição, das vigas em madeira na construção, a fim de comparar e facilitar o uso do material pelos construtores no Brasil. De acordo com o acesso aos materiais de construção em madeira, que vão de encontro com a abundância do material em território nacional, sendo as soluções construtivas viáveis à utilização desse material como funcionalidade na edificação, tentando ao longo deste trabalho verificar sua importância.

Além disso, a pesquisa possui intenção de possibilitar maior inserção do uso da madeira no mercado de construção civil no Brasil, considerando a madeira como alternativa comparada à alvenaria convencional, nesse caso, a madeira como opção de substituição das vigas de concreto em uma construção de alvenaria. Através da observação, análise e comparação da aplicação das vigas na construção residencial, em andamento, calcular e avaliar as possibilidades de eficiência do uso da madeira, assim como o custo benefício do material, no lugar das vigas utilizadas atualmente, em concreto.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

A utilização da madeira de reflorestamento como material construtivo apresenta inúmeras vantagens, apesar de não ser bem aceita no ramo da construção civil. Os benefícios são muitos, como as vantagens em torno da sustentabilidade, já que a madeira é um material renovável e para ser produzida, necessita de menos gasto de energia em sua produção, que comparado ao aço e concreto, por exemplo (BRITO, 2010; GOMES, 2014).

Considerada um material temporal, pode ser utilizada como revestimento, ou mesmo estruturalmente, pois o baixo peso da madeira auxilia as estruturas de fundações em relação à resistência (BRITO, 2010). Sua boa resistência mecânica ajuda na tração das estruturas, além de possuir também um isolamento térmico excelente, assim como a absorção acústica (VARA, 2015).

Seu uso é comum em projetos arquitetônicos, a fim de recuperar ou restaurar algum espaço específico, também do mobiliário a peças decorativas. Como material construtivo, a madeira possui grande resistência, se tratando da madeira roliça, de reflorestamento, como o Eucalipto, por exemplo. Nota-se, além disso, a importância da utilização de fontes renováveis atuais, para o campo da construção civil, além de ser agradável à vista, quando exposto (BRITO, 2010; VARA, 2015).

A madeira, possui baixo peso, o consumo energético também apresenta-se quase negativo em seu processamento, disponível no mercado e, mesmo necessitando ser manuseada por profissional especializado, pode ser observada como boa alternativa para substituição de construções feitas com alvenaria convencional, método mais comum no Brasil (BRITO, 2010).

Segundo Vara (2015), adentrando as propriedades físicas da madeira, pode-se aferir que vários fatores devem ser considerados enquanto utilização como material construtivo, como por exemplo, a humidade, a retração e dilatação, distorções, massa volúmica e intensidade, o calor específico do material, o coeficiente de atrito, e outras propriedades. Essas características devem ser levadas em conta, pois, o construtor que optar por usar o material, deve considerar todas as propriedades, estudar, pesquisar e averiguar, antes de executar qualquer obra em madeira.

Em relação às propriedades mecânicas da madeira, deve-se observar sua variabilidade, as ações condicionantes referentes ao comportamento do material, a duração da carga, os efeitos de escala e ainda, o teor da água. Principalmente, as trações e compressões paralelas e perpendiculares das fibras, os eixos, flexões, corte, elasticidade e distorção, devem ser considerados fundamentais enquanto uso estrutural, por exemplo (VARA, 2015).

De acordo com Melo (2013), às vantagens em utilizar a madeira como material construtivo são variadas, seu pré-dimensionamento, a considerar a obtenção da seção das peças, primeiro, é concebida com a observação do projeto arquitetônico e projeto estrutural. Assim, é importante analisar as exigências normativas, e a partir disso, dentro dos variados contextos de benefícios para a construção civil, analisar as condições de apoio da madeira, seu atendimento às condições de resistência física e mecânica diante de um projeto específico, as condições de estabilidade, deformações e deslocamentos, para então poder avaliar seu uso na edificação escolhida.

Ao recorrer às normas exigidas para construção civil, nesse caso, às normas relacionadas ao madeiramento construtivo, observar precisamente quais as ênfases. Porém, também é necessário no início do processo de cálculo, que seja realizado um embasamento

empírico. Portanto, é comum que a estimativa do material em relação às dimensões das peças a serem utilizadas não esteja clara, em um primeiro momento. Ou seja, existe a necessidade de se estimar as dimensões através de formulações empíricas aproximadas, antes de considerar os dimensionamentos exigidos por norma, principalmente quando o uso construtivo possuir geometria e comportamentos complexos (MELO, 2013).

Ainda segundo Melo (2013), as normas relacionadas ao madeiramento construtivo, não possuem referencial específico, sendo assim, é necessário que sejam realizados cálculos através do posicionamento de vigas. No Brasil, a maior parte dos cálculos são realizados com base nas fórmulas internacionais, adequando-se às normativas nacionais. Observa-se que o pré-dimensionamento não é muito explicitado quando recorre-se às normas, muitas vezes, diante disso, considera-se a imposição da experiência do calculista para realizar as ações devidas.

Gomes (2014) enfatiza que algumas normas são acessíveis para início do processo de cálculo, como a norma NBR 6123/1988, que auxilia no cálculo dos coeficientes de pressão externa. No entanto, essa norma não define o cálculo de telhados de quatro águas, por exemplo, e nesse caso, deve ser adotado o mesmo cálculo dos coeficientes de pressão externa da madeira “(...)considerando o maior lado da edificação e, posteriormente, o menor lado da edificação” (GOMES, p. 39, 2014).

Através dos cálculos e das análises, é importante comparar, de acordo com o pré-dimensionamento adotado para execução dos cálculos, os resultados das expressões simplificadas quanto ao dimensionamento de acordo com as normas, e em seguida, o dimensionamento segundo as fórmulas. Assim, é possível que sejam feitos ajustes quanto aos números resultantes, antes da execução da obra em madeira. Caso necessário, pode ser realizada uma outra comparação, como observar outras edificações, já construídas em madeira, com metragens parecidas, a fim de nortear o acabamento e conclusão dos cálculos totais e finais (MELO, 2013; VARA, 2015).

Para finalizar, é relevante que sejam observadas, após o término da construção, as conclusões que podem ser feitas relacionadas ao favoritismo da madeira em substituição de uma alvenaria convencional. Como o melhor comportamento do material em relação às emissões de CO<sub>2</sub>, pois Vara (2015), constata que a madeira “(...)revela um valor substancialmente inferior” (VARA, p. 90, 2015).

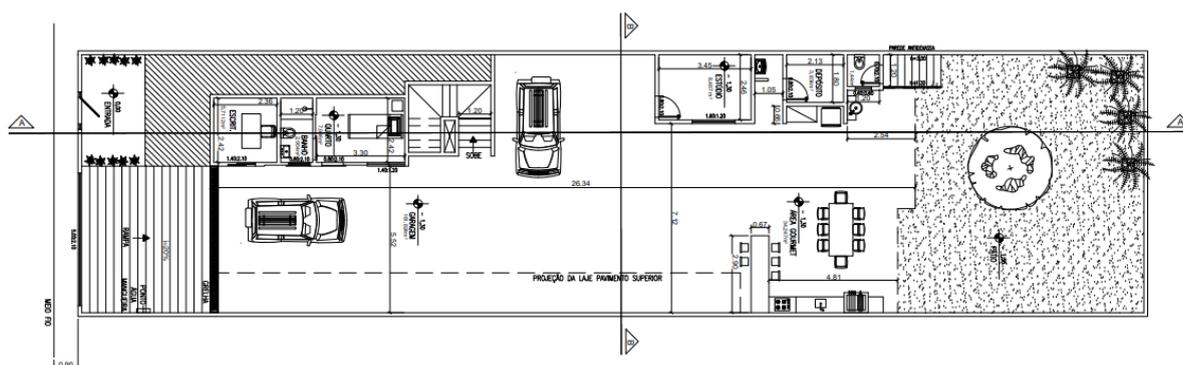
Contudo, a madeira oferece diversos benefícios sociais, econômicos e sustentáveis, para a área da construção civil. Um material renovável, que possui menores gastos energéticos em sua produção, quando comparada com outros materiais, como a alvenaria

convencional (GOMES, 2014). A madeira, se utilizada de forma correta, por profissionais responsáveis na execução de uma edificação, como método construtivo viável, pode ser mais rentável e proporcionar conforto térmico e acústico, também através do profissional por trás do projeto arquitetônico. Assim como a consideração em relação à qualidade da madeira a ser utilizada, fazendo as verificações necessárias antes e depois dos cálculos de dimensionamento das vigas pro projeto em construção, selecionado para averiguação neste trabalho, tendo como documento de apoio às normas nacionais relacionadas ao uso da madeira como substituição das vigas de concreto atualmente aplicadas à obra.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho observou e avaliou o projeto arquitetônico de uma obra residencial em construção na cidade de Campanha/MG, na rua João Bressane, 135, Centro, ao utilizar as plantas da edificação como fonte de pesquisa, para assim poder calcular o uso da madeira, na aplicação das vigas, ao executar a obra. Trata-se de uma construção residencial unifamiliar localizada em um terreno de 400 m<sup>2</sup>, composta pelo pavimento térreo e primeiro pavimento, possuindo 196, 54 m<sup>2</sup> cada pavimento. Com um total de 393,08 m<sup>2</sup> de área construída, e 84, 72 m<sup>2</sup> de área permeável.

Figura 01: Planta baixa/térreo, escala 1:100.



Fonte: Eng<sup>a</sup> Civil Geisla Ap. Maia Gomes CREA: 185650/D

Figura 02: Planta baixa/pavimento 01, escala 1:100.



Também teve o intuito de desenvolver uma pesquisa básica bibliográfica, a fim de apresentar conceitos, realidades e situações apresentadas pelos autores selecionados, como embasamento da introdução deste trabalho. Assim, foi feita uma busca pela internet, através de sites, revistas online, livros e documentos, a fim de recorrer a artigos recentemente publicados.

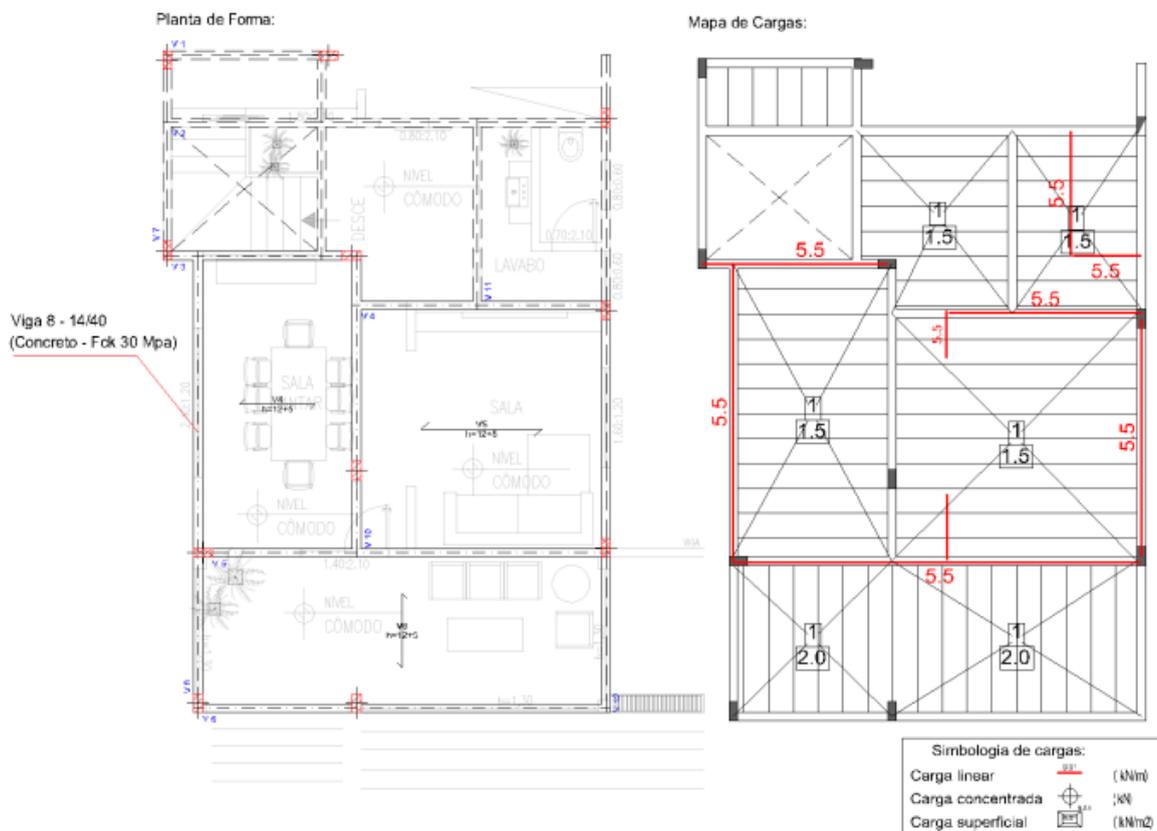
A investigação exploratória feita aqui, auxiliou no encontro da literatura, contudo, foram apresentadas citações de autores nacionais da área da engenharia em madeira, além da utilização do documento referente à normatização do uso do material. Durante o desenvolvimento, foi possível perceber que os autores ajudaram a responder às problemáticas de pesquisa, além de auxiliar diante dos objetivos gerais e específicos, assim como o importante papel das normas para o desenvolvimento dos cálculos.

Diante disso, nota-se que esta pesquisa foi feita através de uma busca pela bibliografia semelhante ao tema deste trabalho, por uma natureza exploratória, dentro de uma abordagem qualitativa do conteúdo. E em seguida, foram realizados os cálculos entregues na substituição, como hipótese, da aplicação das vigas em madeira ao invés do material utilizado atualmente, em concreto.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

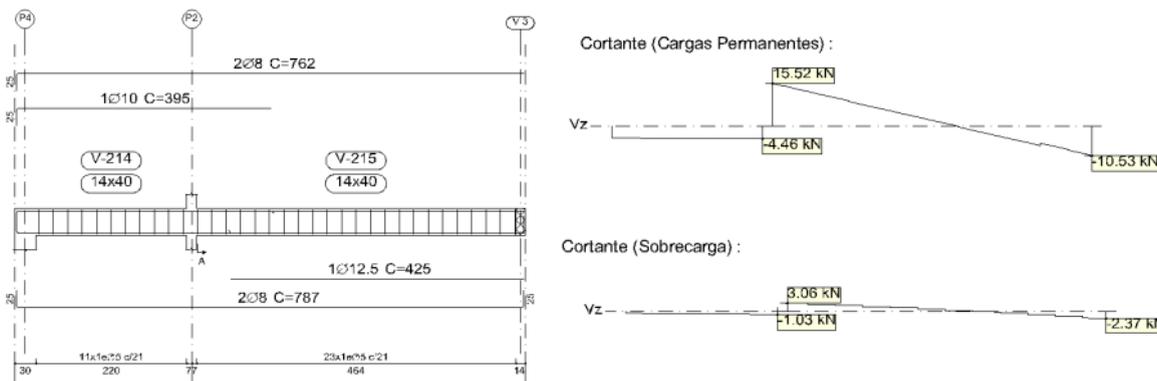
Para esta sessão, foram realizados cálculos das vigas localizadas no projeto selecionado para este trabalho. Um projeto atual, em andamento, na cidade de Campanha/MG, onde a construção tem sido realizada em alvenaria, tradicional formato construtivo no Brasil com vigas de concreto. A seguir nota-se a localização das vigas, de acordo com o desenho do projeto arquitetônico atualizado e os cálculos para substituição das mesmas, em madeira:

Figura 04: Planta de Forma e Mapa de Cargas, escala 1:100.



Fonte: Eng<sup>a</sup> Civil Geisla Ap. Maia Gomes CREA: 185650/D

Figura 05: Desenho de Cargas, escala 1:100.



Fonte: Bruno Rodrigues de Morais

A seguir dá-se início aos cálculos realizados através do software Cypecad 2016, referentes às vigas em madeira, para aplicação na obra em construção na cidade de Campanha/MG, como hipótese às vigas de concreto utilizadas atualmente:

Substituição Viga V-215 por Viga de Madeira (Verificação Resistência à Flexão Simples/Flecha):

Dados: Comprimento (L): 4.60 m

$$\text{Carregamento Permanente: } F_{Gk} = \frac{15.52+10.53}{4.60} = 5.66 \text{ kN/m}$$

$$\text{Sobrecarga: } F_{Qk} = \frac{3.06+2.37}{4.60} = 1.18 \text{ kN/m}$$

Para o desenvolvimento dos cálculos, foi necessário o acesso às Normas Brasileiras da ABNT, de acordo com as tabelas a seguir, presentes em “Projetos de Estruturas em Madeira” de 1997. Foi acessada a tabela 5.7.2 de combinações últimas especiais ou construção, correspondentes aos dados também na tabela 5.4.6. Em seguida, foi considerada a tabela de ações variáveis, também encontrada nas Normas Brasileiras, combinações que podem ser usadas como normais, especiais ou de construção e as excepcionais.

Ações variáveis em geral, são incluídas às cargas acidentais móveis, dessa forma, para este cálculo, foi usado dados  $\lambda_0=1,4$ ,  $\lambda_0=1,2$  e  $\lambda_0=1,0$ . Para efeitos da temperatura dados  $\lambda_e=1,2$ ,  $\lambda_e=1,0$  e  $\lambda_e=0$ . Já referente às ações permanentes de grande variabilidade, considerou-se as combinações normais, especiais, especiais ou de construção, e para efeitos desfavoráveis dados  $\lambda_0=1,4$ ,  $\lambda_0=1,3$ ,  $\lambda_0=a5$  e  $\lambda_0=1,2$ . Já para efeitos favoráveis foi utilizado igual a  $\lambda_0=0,9$ ,  $\lambda_0=0,9$  e  $\lambda_0=0,9$ . Dando andamento aos cálculos a seguir:

$$F_d = 1.4 * 5.66 + 1.4 * 1.18 = 9.58 \text{ kN/m}$$

\*Não consta peso próprio da estrutura de madeira.

$$M_d = \frac{F_d * L^2}{8} = \frac{9.58 * 4.6^2}{8} = 25.35 \text{ kN.m (Momento Máximo)}$$

$$V_d = \frac{F_d * L}{2} = \frac{9.58 * 4.6}{2} = 22 \text{ kN (Cortante Máxima)}$$

A NBR 7190/1997, quando explicita o Projeto de Estruturas de Madeira, mais especificamente na página 16, esclarece que as classes de resistência das madeira tem por objetivos o emprego de madeiras com propriedades padronizadas orientando a escolha do material para elaboração de projetos estruturais. O enquadramento de peças de madeira nas

classes de resistência específicas nas tabelas 8 e 9 deve ser feito conforme as exigências definidas em 10.6, conforme tabela a seguir:

Figura 06: Classes de Resistência.

Tabela 8 - Classes de resistência das coníferas					
Coníferas (Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	$f_{cdk}$ MPa	$f_{vk}$ MPa	$E_{cd,m}$ MPa	<sup>1)</sup> $P_{bas,m}$ kg/m <sup>3</sup>	$P_{aparente}$ kg/m <sup>3</sup>
C 20	20	4	3 500	400	500
C 25	25	5	8 500	450	550
C 30	30	6	14 500	500	600

<sup>1)</sup> Como definida em 6.1.2.

Tabela 9 - Classes de resistência das dicotiledôneas					
Dicotiledôneas (Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	$f_{cdk}$ MPa	$f_{vk}$ MPa	$E_{cd,m}$ MPa	<sup>1)</sup> $P_{bas,m}$ kg/m <sup>3</sup>	$P_{aparente}$ kg/m <sup>3</sup>
C 20	20	4	9 500	500	650
C 30	30	5	14 500	650	800
C 40	40	6	19 500	750	950
C 60	60	8	24 500	800	1 000

<sup>1)</sup> Como definida em 6.1.2.

Fonte: NBR 7190/1997. Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, ABNT,1997.

A NBR 7190/1997, quando explicita o Coeficiente de Modificação e Valores, mais especificamente na página 18, que o coeficiente de modificação utilizados afetam os valores das propriedades da madeira em função da classe de carregamento da madeira, em função da classe de carregamento da estrutura, da classe de umidade admitida e do eventual emprego de madeira de segunda qualidade. Conforme demonstrado nas tabela abaixo, também em relação aos valores de k:

Figura 07: Coeficiente de Modificação e Valores.

Classes de carregamento	Tipos de madeira	
	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
	Permanente	0,60
Longa duração	0,70	0,45
Média duração	0,80	0,65
Curta duração	0,90	0,90
Instantânea	1,10	1,10

Fonte: NBR 7190/1997. Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, ABNT, 1997.

Os coeficientes de modificação Kmod afetam os valores de cálculo das propriedades da madeira em função da classe de carregamento da estrutura, da classe de umidade admitida

e do eventual emprego de madeira de segunda qualidade. Sendo o coeficiente de modificação  $k_{mod}$  formado pelo produto como  $k_{mod} = k_{mod,1} \cdot k_{mod,2} \cdot k_{mod,3}$ .

O coeficiente parcial de modificação  $k_{mod,3}$  leva é levado em conta se a madeira é de primeira ou segunda categoria. No caso de madeira de segunda categoria, admite-se  $k_{mod,3} = 0,8$  e no caso de primeira categoria,  $k_{mod,3} = 1,0$ .

Figura 08: Valores de k.

**Tabela 11 - Valores de  $k_{mod,2}$**

Classes de umidade	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
(1) e (2)	1,0	1,0
(3) e (4)	0,8	0,9

Fonte: NBR 7190/1997. Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, ABNT, 1997.

Valores Adotados:  $K_{mod,1} = 0,6$ ;  $K_{mod,2} = 1$ ;  $K_{mod,3} = 1$ ;  $K_{mod} = 0,6 * 1 * 1 = 0,6$

Dados da Viga de Madeira: Largura:  $b = 14$  cm; Altura:  $h = 40$  cm

Resistência adotada para o projeto: C 40 (Dicotiledôneas)

Área da Seção:  $b \cdot h = 560$  cm<sup>2</sup>

Inércia em x,y:  $I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{14 \cdot 40^3}{12} = 74666,67$  cm<sup>4</sup> ;

$$I_y = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{40 \cdot 14^3}{12} = 9146,67$$
 cm<sup>4</sup>

Módulo de Resistência:  $w_x = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{14 \cdot 40^2}{6} = 3733,33$  cm<sup>3</sup>

$$w_y = \frac{h \cdot b^2}{6} = \frac{40 \cdot 14^2}{6} = 1306,66$$
 cm<sup>3</sup>

Raio de Giração em x,y :  $r_x = \sqrt{\frac{I_x}{Área}} = \sqrt{\frac{74666,67}{560}} = 11,55$  cm;

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{Área}} = \sqrt{\frac{9146,67}{560}} = 4,04$$
 cm

Comprimento de Esbeltez:  $\lambda_x = \frac{L}{r_x} = \frac{460}{11,55} = 39,82$

$$\lambda_y = \frac{L}{r_y} = \frac{460}{4,04} = 113,86$$

$$\lambda < 140 \text{ (OK)}$$

A NBR 7190/1997, quando explicita o Coeficiente de Modificação e Valores, mais especificamente na página 16, as classes de resistência das madeiras tem por objetivos o emprego de madeiras com propriedades padronizadas orientando a escolha do material para elaboração de projetos estruturais. O enquadramento de peças de madeira nas classes de resistência específicas, deve ser feito conforme as exigências definidas a seguir, considerando a classe de resistência das dicotiledôneas:

Figura 09: Módulo de Elasticidade Efetivo.

Classes	$f_{c0k}$ MPa	$f_{vk}$ MPa	$E_{c0,m}$ MPa	1) $P_{bas,m}$ kg/m <sup>3</sup>	$P_{aparente}$ kg/m <sup>3</sup>
C 20	20	4	9 500	500	650
C 30	30	5	14 500	650	800
C 40	40	6	19 500	750	950

Fonte: NBR 7190/1997. Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, ABNT, 1997.

A tabela acima indica os valores específicos, que foram utilizados para realização dos cálculos em forma a seguir:

$$E_{c0,ef} = K_{mod} * E_{c0,m} = 0,6 * 19500 = 11700 \text{ Mpa} = 1170 \text{ Kn/cm}^2$$

Verificação de Deformação (Flecha):  $L/300 = 1.53 \text{ cm}$

$$\delta = 5 * \frac{L^4 * Fd}{384 * E_{c0,ef} * I_x} = 5 * \frac{460^4 * 0.0958}{384 * 1170 * 74666.67} = 0.639 \text{ cm} < L/300$$

$$\text{Tensões de dimensionamento: } \sigma = \frac{Md}{w_x} = \frac{2535 \text{ kN.cm}}{3733.33 \text{ cm}^3} = 0.7 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Flambagem Lateral: } \frac{L}{b} \leq \frac{E}{\beta_m} * f_{c0d} ; f_{c0d} = k_{mod} * \frac{f_{c0k}}{\gamma_{wt}}$$

De acordo com os Coeficientes de Ponderação da Resistência para Estados Limites Últimos, que constam na NBR 7190/1997, da Associação Brasileira de Normas Técnicas

(1997), quando especificados em Projeto de Estruturas de Madeira para estados limites últimos, decorrentes de tensões de compressão paralela às fibras o valor básico a ser considerado é de  $\gamma_{wt} = 1,4$ .

$$f_{c0k} = 40 \text{ Mpa}; \gamma_{wt} = 1,4$$

$$f_{c0d} = 0,6 * \frac{4}{1,4} = 1,71 \text{ kN/cm}^2$$

$$\beta_m = \frac{1}{\sqrt{\frac{\pi * \sqrt{\frac{h^2}{b} + 4}}{4} * 1,4}} = 11,77$$

$$\frac{L}{b} \leq \frac{E}{\beta_m} * f_{c0d}; 32,6 \leq 57,97$$

Da flexão oblíqua:

$$\frac{\sigma_x}{f_{c0d}} + 0,5 * \frac{\sigma_y}{f_{c0d}} < 1$$

$$\frac{0,7}{1,71} = 0,41 < 1 \text{ (ok)}$$

Do cisalhamento:

$$\frac{\frac{3}{2} * \sqrt{vx^2 + vy^2}}{A} < 0,15 * f_{c0d}$$

$$0,04 < 0,15 * 1,71$$

$$0,04 < 0,25$$

Diante disso, foi possível observar e analisar a comparação das vigas de concreto utilizadas atualmente, na construção da obra, em contrapartida à sugestão da aplicação das vigas de madeira, como hipótese. A seguir, estão os dados de acordo com as vigas atualmente utilizadas, em concreto. Com auxílio do software Cypecad, para demonstrativo cálculo de vigas em concreto, foi realizada a observação e análise se comparação, como demonstra a figura a seguir:

Figura 10: Tabela de Descrição da Viga de Concreto.

1.- DESCRIÇÃO

Dados da viga	
Geometria	
Dimensões	: 14x40
Vão livre	: 4.6 m
Cobrimento geométrico superior	: 2.5 cm
Cobrimento geométrico inferior	: 2.5 cm
Cobrimento geométrico lateral	: 2.5 cm
Materiais	
Concreto	: C30, usina.rigor
Armadura longitudinal	: CA-50 e CA-60
Armadura transversal	: CA-50 e CA-60

Fonte: Dados retirados do ELUS, por Bruno Rodrigues de Moraes.

Figura 11: Tabela de Resumo das Verificações de Cálculo, de uma viga de concreto, no Cypecad para fins de demonstrativo.

2.- RESUMO DAS VERIFICAÇÕES

Vão	VERIFICAÇÕES DE RESISTÊNCIA (ABNT NBR 6118:2014)													Estado		
	Disp.	Arm.	Q	N,M	T <sub>c</sub>	T <sub>tr</sub>	T <sub>td</sub>	TNM <sub>x</sub>	TV <sub>x</sub>	TV <sub>y</sub>	TV <sub>x,s</sub>	TV <sub>y,s</sub>	T <sub>Disp,at</sub>		T <sub>Geom,at</sub>	T <sub>Arm,at</sub>
V-215: P2 - V 3	Passa	Passa	'0.182 m' η = 47,5	'P2' η = 92,7	N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(1)</sup>	<b>PASSA</b> η = 92.7				
<p>Notação:</p> <p>Disp.: Disposições relativas às armaduras</p> <p>Arm.: Armadura mínima e máxima</p> <p>Q: Estado limite de ruptura relativo ao esforço cortante (combinações não sísmicas)</p> <p>N,M: Estado limite de ruptura frente a solicitações normais (combinações não sísmicas)</p> <p>T<sub>c</sub>: Estado limite de ruptura por torção. Compressão oblíqua.</p> <p>T<sub>tr</sub>: Estado limite de ruptura por torção. Tração na alma.</p> <p>T<sub>td</sub>: Estado limite de ruptura por torção. Tração nas armaduras longitudinais.</p> <p>TNM<sub>x</sub>: Estado limite de ruptura por torção. Interação entre torção e esforços normais. Flexão em torno do eixo X.</p> <p>TV<sub>x</sub>: Estado limite de ruptura por torção. Interação entre torção e esforço cortante no eixo X. Compressão oblíqua</p> <p>TV<sub>y</sub>: Estado limite de ruptura por torção. Interação entre torção e esforço cortante no eixo Y. Compressão oblíqua</p> <p>TV<sub>x,s</sub>: Estado limite de ruptura por torção. Interação entre torção e esforço cortante no eixo X. Tração na alma.</p> <p>TV<sub>y,s</sub>: Estado limite de ruptura por torção. Interação entre torção e esforço cortante no eixo Y. Tração na alma.</p> <p>T<sub>Disp,at</sub>: Estado limite de ruptura por torção. Espaçamento entre as barras da armadura longitudinal.</p> <p>T<sub>Geom,at</sub>: Estado limite de ruptura por torção. Diâmetro mínimo da armadura transversal.</p> <p>T<sub>Arm,at</sub>: Estado limite de ruptura por torção. Quantidade mínima de estribos fechados.</p> <p>x: Distância à origem da barra</p> <p>η: Coeficiente de aproveitamento (%)</p> <p>N.P.: Não procede</p> <p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):</p> <p><sup>(1)</sup> A verificação do estado limite de ruptura por torção não é necessária, já que não há momento de torção.</p> <p><sup>(2)</sup> A verificação não é necessária, já que não há interação entre torção e esforços normais.</p>																
Vão	VERIFICAÇÕES DE FISSURAÇÃO (ABNT NBR 6118:2014)					Estado										
	W <sub>k,F,inf</sub>	W <sub>k,F,lim.Dr.</sub>	W <sub>k,F,inf</sub>	W <sub>k,F,lim.Fiss.</sub>	σ <sub>s</sub>											
V-215: P2 - V 3	x: 0 m Passa	N.P. <sup>(1)</sup>	x: 2.7 m Passa	N.P. <sup>(1)</sup>	x: 0 m Passa	<b>PASSA</b>										
<p>Notação:</p> <p>W<sub>k,F,inf</sub>: Controle da fissuração através da limitação da abertura estimada das fissuras: Face superior</p> <p>W<sub>k,F,lim.Dr.</sub>: Controle da fissuração através da limitação da abertura estimada das fissuras: Face lateral direita</p> <p>W<sub>k,F,inf</sub>: Controle da fissuração através da limitação da abertura estimada das fissuras: Face inferior</p> <p>W<sub>k,F,lim.Esq.</sub>: Controle da fissuração através da limitação da abertura estimada das fissuras: Face lateral esquerda</p> <p>σ<sub>s</sub>: Armaduras longitudinais mínimas</p> <p>x: Distância à origem da barra</p> <p>η: Coeficiente de aproveitamento (%)</p> <p>N.P.: Não procede</p> <p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):</p> <p><sup>(1)</sup> A verificação não é necessária, já que não há nenhuma armadura tracionada.</p>																

Fonte: Bruno Rodrigues de Moraes

Como preocupação final deste estudo, a tabela a seguir apresenta a diferença de custo-benefício entre a utilização das vigas em madeira, em contrapartida às vigas de concreto. Após adquirir dados do Sinapi, para cálculo de custo por metro cúbico de material, com auxílio do software Excel, foi feito um comparativo relacionando o metro cúbico de concreto e de madeira:

Figura 12: Tabela de Comparação entre dois sistemas construtivos: madeira e concreto.

	A	B	C	D	E	F	G
1	1	Código	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Preço total
2	1.1	00134/ORSE	Pilar e vigas de madeira, seção 20x20cm a 14x40cm, em massaranduba, angelim ou madeira de lei (jul/2020)	m³	0,2576	R\$ 4.688,59	R\$ 1.207,78
3	1.2	SINAPI	FUES 0301 (composição representativa) execução de estruturas de concreto armado, para edificação habitacional unifamiliar com dois pavimentos (casa em empreendimentos), fck = 25 mpa. Af_01/2017 M3 9/2021	m³	0,2576	R\$ 2.608,15	R\$ 671,86

Fonte: Dados retirados do SINAPI, por Bruno Rodrigues de Moraes.

Para finalizar, após realizado os cálculos de comparativo entre as vigas em concreto e madeira, foi possível o desenvolvimento da comparação do custo benefícios dos materiais. Nota-se que apesar da abundância da madeira de reflorestamento no Brasil, o material ainda possui um valor mais alto que o concreto, que culturalmente é mais utilizado. Porém, em projetos arquitetônicos, é comum encontrar a madeira em situações de vigas, treliças, entre outros, de forma aparente, como sugestão estética para as construções.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido à falta de normatização brasileira diante dos dimensionamentos relacionados ao uso da madeira em construções residenciais comumente conhecidas e habitadas, houve certa dificuldade na realização dos cálculos, mesmo acessando os materiais teóricos referenciais para este trabalho. Porém, com o auxílio da orientadora, da literatura selecionada para este trabalho e principalmente, com o apoio das normas nacionais referentes ao uso da madeira na construção civil, foi possível realizar os cálculos das dimensionalidades das vigas em madeira.

Tais cálculos das vigas em madeira poderiam ser consideradas para aplicação no projeto em questão, que atualmente utiliza vigas em concreto, como substituição. Portanto, mesmo em hipótese, foi possível a observação da valorização do material madeira como compatibilidade de uma construção civil residencial tradicional, além da diferenciação do custo benefício apresentado seguido dos cálculos, mesmo apresentando quase o dobro do valor, o material em madeira possui aparência chamativa, o que chama a atenção esteticamente.

O desenvolvimento dos cálculos demonstra que o uso da madeira pode e deve ser considerado, tanto no Brasil como é comum no mundo todo, já que o território nacional possui abundância em madeiras de reflorestamento, como o eucalipto, e possui o valor de um material sustentável no desenvolvimento de uma obra. Assim, aproveitar o material nacional, incentivar o uso da madeira em construções tradicionais, considerando as condições de durabilidade e sustentabilidade do material, pode ser visto como avanço para a área da construção civil, apresentando também uma boa aparência para as vigas colocadas. Além disso, este trabalho apresenta-se como um observatório para técnicos e estudiosos da área, averiguando a possibilidade e multiplicidade na organização do material em madeira para fins construtivos válidos e possíveis, devido à importância em incentivar o uso desse material e exploração de suas possibilidades nas construções nacionais.

### ABSTRACT

This work carried out a theoretical-conceptual investigation through selected bibliographic review, through published scientific articles, documents and books, to investigate the use of wood material in national constructions. In addition, it sought to understand the reasons for using wood in civil construction and the lack of use, by observing the abundance of material present in Brazilian territory, considering reforestation of wood. Therefore, a project in residential construction in the city of Campanha, Minas Gerais, was selected to carry out the comparison and replacement of the concrete beam, currently used in the work, by the wooden beam, in order to demonstrate the quality of the use of the wood material in the same building. At the end of this study, it was possible to analyze the advantage of wood as useful beams in national civil construction, so that scholars in the field of civil engineering can observe and access wood more frequently, considering possibilities and advantages of use in future projects.

**Keywords:** Calculation. Material. Sizing. Use. Wood.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFLALO, M. **A madeira vem sendo usada de forma pouco nobre.** Publicado em: 10 de março, 2017. Madeira e Construção. Entrevista concedida à Maureen Bertol.

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

BRITO, Leandro Dussarrat. **Recomendações para o projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento.** 339 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

GOMES, Geisla. **Substituição de pilares em madeira em uma residência unifamiliar.** Trabalho de Conclusão de Curso - UNIS, Varginhas, Minas Gerais, 2014.

MELO, Paula. **Pré-dimensionamento de estruturas de madeira, de aço e de concreto para auxílio à concepção de projetos arquitetônicos.** Dissertação de Mestrado - UFU, Uberlândia, 2013.

SILVA, Cristina. **Sistemas Construtivos em Madeira: análise comparativa entre dimensionamentos realizados com base em uma estrutura real.** Trabalho de Conclusão de Curso - UFU, Uberlândia, 2018.

VARA, Ângela. **Estudo comparativo entre estruturas em madeira e estruturas em betão armado.** Dissertação de Mestrado - Universidade de Évora, Portugal, 2015.