

# AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DA DEFORMAÇÃO POR CISALHAMENTO EM VIGAS I DE MADEIRA

## EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE INFLUENCE OF SHEAR DEFLECTION IN WOOD I BEAMS

Jorge Luís Nunes de Góes <sup>(1)</sup>, Tatiana Carlin <sup>(2)</sup>, Paulo Roberto Pizzini <sup>(2)</sup>,  
Matheus de Godoy Tavares <sup>(2)</sup>

(1) Prof. Dr., Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Brasil

(2) Acadêmica do curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Brasil

Endereço de contato: jgoes@utfpr.edu.br

**Código de identificação: T6-26**

### Resumo

Inseridos no contexto de escassez dos recursos minerais não renováveis surgem os Produtos Engenheirados de Madeira (PEM), caracterizados por suas propriedades estruturais melhoradas e controle rigoroso de qualidade. Dessa maneira, a Associação da Madeira Engenheirada classifica esses produtos em categorias e, inseridas em uma delas, estão as vigas “I-Joists”. Tais vigas em perfil “I” são constituídas por mesas de madeira serrada e alma composta por OSB. Considerando a importância do conhecimento do comportamento estrutural de vigas “I-Joists” e visando futura normatização brasileira, faz-se necessário o estudo teórico e experimental sobre o comportamento destes produtos. O presente trabalho expõe uma comparação de modelos analíticos para previsão de flechas com o de resultados experimentais realizados em vigas de perfil “I” em escala real. Além disso, o programa experimental da pesquisa foi conduzido de forma a caracterizar todos os materiais empregados em atendimento a normas brasileiras e estrangeiras, quando na falta de normatização nacional. Sendo assim, tendo em vista a parcela de esforço cortante nas metodologias de cálculo, tanto o modelo via Princípio dos Trabalhos Virtuais como o proposto pela APA (Rancourt) se mostraram satisfatórios. Porém, o primeiro modelo analítico apresentou resultados mais próximos daqueles obtidos experimentalmente.

**Palavras chave:** I-Joist; modelo analítico; comportamento estrutural

### Abstract

*Inserted in the context of the scarcity of non-renewable mineral resources, the Engineered Wood Products (EWPs) are characterized by their improved structural properties and strict quality control. Thus, the Association of Engineered Wood classifies these products into categories and, inserted in one of them, are the "I-Joists" beams. Such beams in shape of an "I" are constituted by lumber flanges and structural panel webs, OSB. Considering the importance of the knowledge about the structural behavior of "I-Joists" beams and aiming at future Brazilian standardization, a theoretical and experimental study on the behavior of these products is mandatory. The present paper propound a comparison of analytical models for forecast deflections with the experimental results realized in real scale "I" shaped beams. In addition, the experimental research program was conducted in order to characterize all the materials used in compliance with Brazilian and foreign standards, in the absence of national standards. Therefore, considering the shear effort in the analytic calculations, both models - Principle of Virtual Works and the one proposed by APA (Rancourt) - were satisfactory. However, the first analytical model presented results closer to those obtained experimentally.*

**Keywords:** I-Joist, analytical model; structural behavior

## 1. INTRODUÇÃO

Com a possibilidade de escassez dos recursos minerais não renováveis, pode-se dizer que a madeira será, por excelência, o material de construção do futuro. Suas excelentes propriedades físicas e mecânicas, além do fato de ser um material continuamente renovável, colocam-na numa posição de destaque frente a outros materiais. O profundo conhecimento de suas propriedades torna-se, dessa forma, fundamental para que sejam garantidos, principalmente, os requisitos de segurança e durabilidade [1].

Nesse contexto, surgem os Produtos Engenheirados de Madeira (PEM) ou *Engineered Wood Products* (EWPs), caracterizados como produtos com propriedades estruturais melhoradas para ter seu uso mais eficiente, visando à economia de material, o desenvolvimento sustentável e o desempenho estrutural. As peças serradas de madeira podem apresentar naturalmente defeitos, como nós, fendas, fibra torcida e inclinação excessiva das fibras. Assim, essas dificuldades naturais que impedem uma utilização mais abrangente e eficiente da madeira fizeram com que fossem desenvolvidos novos materiais que apresentam como características a redução de defeitos e consequentemente redução da variabilidade das propriedades [2].

As vigas de madeira com seção transversal “I” são a segunda geração dos produtos engenheirados de madeira (PEM) os quais são envolvidos pela união de uma alma e duas mesas, por meio de ligações pregadas ou coladas, conforme ilustra a figura 1 [3]. As mesas, em geral, são formadas por peças de madeira serrada, enquanto as almas são constituídas tanto por *Oriented Strand Board* (OSB), quanto por madeira compensada [4].



Figura 1: Viga “I-Joist”

As chapas de OSB são formadas por partículas de madeira dispostas em camadas, em que as camadas internas são perpendiculares às externas, de modo que suas propriedades mecânicas se assemelham às da madeira sólida [5]. Numa comparação entre o OSB e o compensado, deve-se destacar a homogeneidade das chapas de OSB, pois não se encontra um ponto fraco devido a um nó ou outro defeito proveniente da madeira sólida [6]. Além disso, o compensado necessita de árvores com diâmetros maiores e madeira de melhor qualidade para sua produção, já o OSB, pode ser confeccionado a partir de árvores de pequeno diâmetro e toras de qualidade inferior [7]. Por fim, ainda segundo [6], a resistência ao cisalhamento é outra característica em que o OSB supera o compensado, sendo esse o fator mais decisivo na escolha desse material para a confecção das almas de vigas “I”.

Reportando-se as ligações entre as mesas e a alma, [8] divide-as em dois grandes grupos: uniões mecânicas e uniões adesivas. As uniões adesivas são consideradas como uniões rígidas, ou seja, não proporcionam deslizamentos significativos entre as partes unidas. Já as uniões mecânicas são

naturalmente deformáveis e suas deformações devem ser computadas no cálculo estrutural. Além disso, outro fator relevante é a geometria para a ligação alma/mesa. De acordo com [9], as ligações entre alma e mesa são estudadas com muita frequência em busca de resultados satisfatórios, já que são um dos grandes obstáculos para a fabricação dessas vigas. Dessa forma, o autor analisou quatro tipos distintos de geometrias: em “V”, com dois sulcos levemente inclinados, com dois sulcos e retangular, conforme a figura 2.



Figura 2: Tipos de geometrias alma/mesa [10].

Ainda sobre o estudo de Ribeiro (2012), verifica-se que as geometrias retangular e em forma de “V” apresentaram resistências superiores às geometrias com sulcos paralelos e inclinados, mostrando assim resultados satisfatórios. Ademais a geometria em “V” apresentou maior praticidade de montagem devido ao formato de encaixe, facilitando a confecção e diminuindo o custo de manufatura em linha de produção.

Em síntese, no Brasil, vale ressaltar que não existem normativas sobre esses produtos industrializados derivados da madeira, mais especificamente as vigas “I-Joists” e seu dimensionamento de maneira plena e efetiva. Dessa forma, considerando a importância do conhecimento do comportamento estrutural dessas vigas e visando futura normatização brasileira, faz-se necessário o estudo teórico e experimental sobre o comportamento destes produtos, em especial, em relação a influência da deformação por cisalhamento. Assim, o presente trabalho possui como objetivo a comparação de modelos analíticos para previsão de flechas com o de resultados experimentais realizados em vigas de perfil “I” em escala real.

## 1.1 Normatização

Como já citado, [11] não apresenta metodologia de cálculo detalhada, para as vigas de seção “I” coladas ou pregadas, apenas indica uma recomendação de dimensionamento. Tal recomendação, baseia-se no fato de que as mesas dessas vigas devem suportar as tensões normais devido a flexão e a alma as tensões de cisalhamento.

O processo de normatização das vigas em “I” de madeira, começou nos EUA em 1981 por um grupo de produtores interessados em estabelecer critérios de desempenho para essas estruturas. Ao fim, determinou-se as capacidades de cargas, resultando em uma classificação mais uniforme do produto. Em 1985, o processo de normatização transferiu-se para a *American Society for Testing and Materials* (ASTM) Comitê D-7 de madeira. Em 1997, elaborou-se a primeira norma para vigas em “I” pré-fabricadas de madeira, a ASTM D5055 [12] (*Standard Specification for Establishing and Monitoring Structural Capacities of Prefabricated Wood I-Joists*), uma especificação padrão para estabelecer e monitorar capacidades estruturais das vigas em “I” pré-fabricadas de madeira [13].

[12] Disponibiliza especificações padrão a fim de estabelecer, monitorar e reavaliar o comportamento estrutural de vigas de madeira com perfil "I" pré-fabricadas. Descreve também os procedimentos, empíricos e analíticos, para a classificação inicial das vigas. Além disso, expõe uma codificação para as principais formas de rupturas que possam vir a ocorrer nas "I-Joists", mas não descarta a possibilidade de ocorrer outros modos de ruptura ainda não descritas na norma. Essa codificação tem por finalidade fazer o controle de qualidade dessas peças e criar um padrão das principais rupturas.

Tendo em vista a necessidade de se estabelecer um padrão para o desempenho de "I-Joists", a Associação de Madeira Engenheirada (APA) desenvolveu um programa de padronização denominado "*Performance Rated I-Joists*" (PRI), isto é, vigas em "I" com performance controlada. Dentro dessa classificação, as vigas têm um limite de flecha para determinado vão e precisam seguir padrões de produção rigorosos, atendendo às normas da ASTM [4]. As alturas totais disponíveis para esse programa são 241 mm, 302 mm, 356 mm e 406 mm, sendo que vigas de mesma altura são fabricadas com diferentes larguras de mesa. A largura da mesa deve ser levada em consideração ao projetar os tipos de apoio utilizados nas ligações de extremidade [14].

Por fim, em relação aos enrijecedores de alma, [15] estabelece dois tipos, aqueles localizados na região dos apoios intermediários ou nas extremidades e os localizados no vão, utilizados na existência de carga concentrada aplicada na mesa superior da viga. Sugere-se que a altura dos enrijecedores de alma seja igual a distância entre as mesas da viga menos 3,18mm até 6,35mm. Nos enrijecedores localizados no vão, a abertura é localizada entre a base dos enrijecedores e a base da mesa inferior. Em contrapartida, nos enrijecedores de alma do apoio, essa abertura é compreendida entre o topo do enrijecedores e a base da mesa superior, conforme ilustra a figura 3.

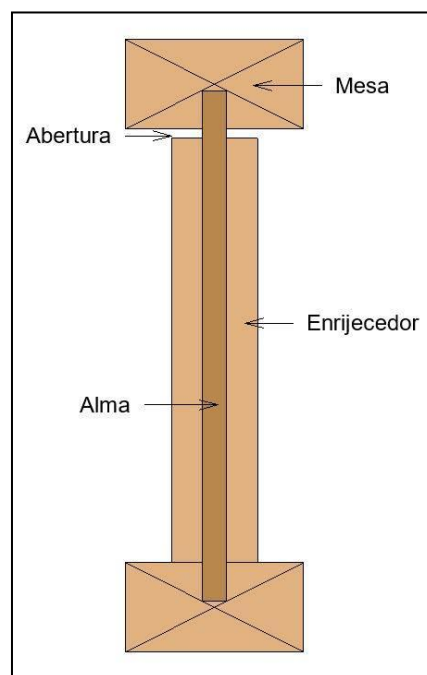


Figura 3: Enrijecedor de alma na seção de apoio.

## 1.2 Comportamento de vigas "I" submetidas à flexão

A geometria das vigas "I" permite o melhor posicionamento dos materiais em relação às suas características. Dessa maneira, as mesas são produzidas para suportar a maior parte do momento fletor, oferecendo elevada rigidez à flexão, enquanto a alma, o esforço referente ao cisalhamento. Além disso, as vigas "I-Joists" são produzidas utilizando adesivos rígidos na ligação alma/mesa,

eliminando o deslizamento pelo cisalhamento e simplificando o cálculo [16]. As figuras 4 e 5 ilustram as tensões que atuam na viga devido ao momento fletor e ao esforço cisalhante, respectivamente.

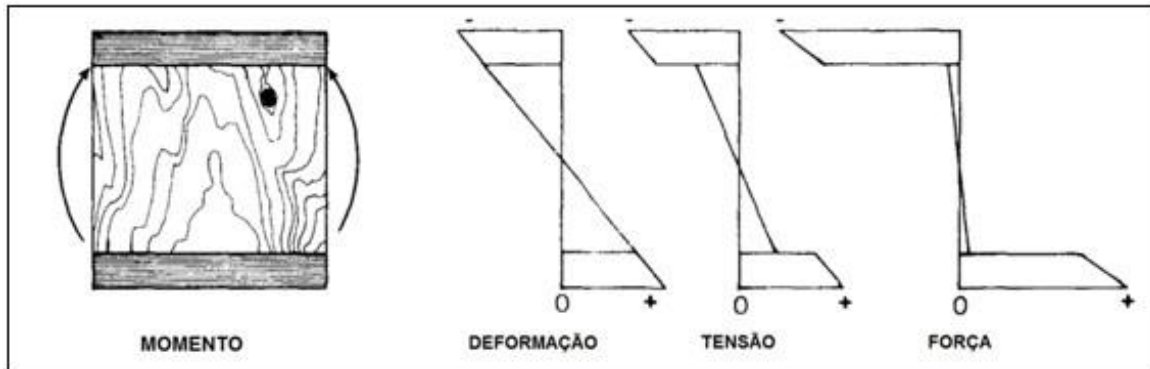


Figura 4: Distribuição da deformação, tensão e força de vigas “I” submetidas a momento fletor positivo [16].

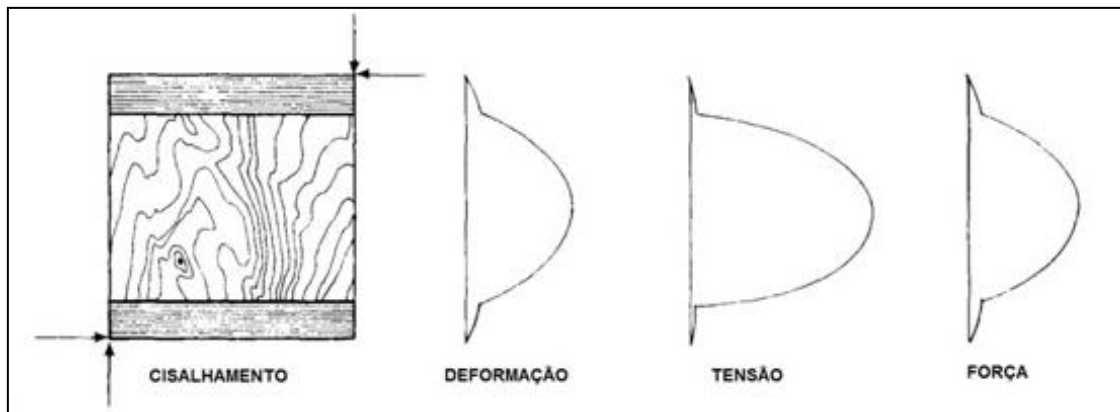


Figura 5: Distribuição da deformação, tensão e força de vigas “I” submetidas ao cisalhamento [16].

Nesse contexto, ao analisar-se uma viga com carregamento  $P/2$  localizados nos terços de seu comprimento, em conformidade com as hipóteses de Euler-Bernoulli, obtêm-se seu deslocamento, representado pela equação 1.

$$\delta = \frac{23 \cdot P \cdot L^3}{1296 \cdot E \cdot I} \quad (1)$$

De acordo com estudos realizados por Garbin [17], quanto ao critério de rigidez à flexão, as vigas apresentaram uma diferença considerável variando de 19% a 31%. Tal fato pode ter origem pela deformação por cisalhamento que não foi considerada no método de cálculo. [17] expõe, de acordo com [18], que as vigas “I”, devido ao material otimizado da alma, são suscetíveis aos efeitos de deformação por cisalhamento podendo ser responsável por 15% até 30% do total da flecha da viga. Portanto, ao se estudar o desempenho das “I-Joists” é necessário considerar a deformação por cisalhamento.

[14] Incorpora à equação 1 um fator que leva em consideração o cisalhamento, sendo este estudado por [19]. Além disso, tal coeficiente de deformação por cisalhamento (K) varia de acordo com o carregamento no qual o elemento estrutural se encontra submetido e com a altura da seção transversal, propostas pelos diferentes números de PRIs, conforme tabela 1. Assim, para o carregamento ilustrado na figura 6 o cálculo da flecha considerando a parcela proveniente do cisalhamento pode ser obtido por meio da equação 2.



Tabela 1: Valores de K para as séries de viga [15]

Altura (mm)	Série da Viga	K (kN)
241	PRI – 20, PRI – 30, PRI – 40, PRI – 50, PRI – 60	21974
302	PRI – 20, PRI – 30, PRI – 40, PRI – 50, PRI – 60, PRI – 70, PRI – 80, PRI – 90	27490
356	PRI – 40, PRI – 50, PRI – 60, PRI – 70, PRI – 80, PRI – 90	32383
406	PRI – 40, PRI – 50, PRI – 60, PRI – 70, PRI – 80, PRI – 90	37009

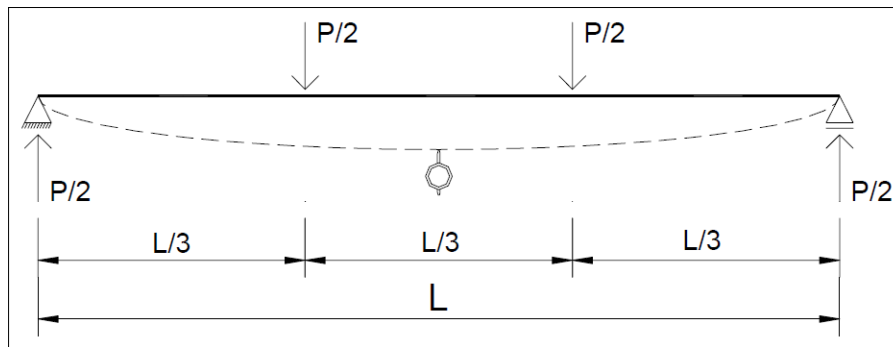


Figura 6: Esquema de ensaio para flexão a quatro pontos [20].

$$\delta = \frac{23PL^3}{1296EI} + \frac{6PL}{8K} \quad (2)$$

Considerando o Princípio dos Trabalhos Virtuais, estimam-se os deslocamentos de elementos estruturais, vide equação 3. Tal equação representa o teorema das forças virtuais, onde,  $N_u$ ,  $M_u$ ,  $V_u$ ,  $T_u$  representam os esforços nas seções da estrutura com a carga unitária. Já  $N$ ,  $M$ ,  $V$  e  $T$  representam os esforços nas seções da estrutura com carregamento original. Ademais, a integral é realizada ao longo do comprimento de todas as barras da estrutura. Dividindo ambos os membros da equação 3 pela unidade de força, o que equivale a considerar um modelo com uma “força virtual unitária adimensional”, obtém-se o deslocamento desejado [21].

$$\delta = \sum_b \int_x \left( \frac{N_u N}{EA} + \frac{M_u M}{EI} + f_s \frac{V_u V}{GA} + \frac{T_u T}{GJ} \right) dx \quad (3)$$

Em vigas “I” submetidas ao ensaio de flexão em quatro pontos, segundo [22], não há a presença de força normal e torção. Dessa forma, a equação 3 pode ser simplificada na equação 4, sendo que a parcela total de deslocamento da viga pode ser dividida em uma parcela devido ao momento fletor e outra proveniente da força cortante, como representado na equação 5.

$$\delta_{total} = \int_x \frac{M_u M}{EI} dx + \int_x f_s \frac{V_u V}{GA} dx \quad (4)$$

$$\delta_{total} = \delta_{normal} + \delta_{cisalhamento} \quad (5)$$

Todavia, o fator de forma  $f_s$  varia conforme a geometria da seção transversal do elemento. Assim, para a seção transversal retangular seu valor é 1,2; para seção circular é aproximadamente 1,11 e para

seção tubo circular ele assume o valor de 2 [23]. Já para as vigas “I-Joists”, [24] propõe a equação 6 para o cálculo do fator de forma, sendo as distâncias indicadas na figura 7.

$$f_s = \left[ 1 + \frac{3 \cdot (D_2^2 - D_1^2) \cdot D_1}{2 \cdot D_2^3} \cdot \left( \frac{t_2}{t_1} - 1 \right) \right] \cdot \frac{4 \cdot D_2^2}{10 \cdot r^2} \quad (6)$$

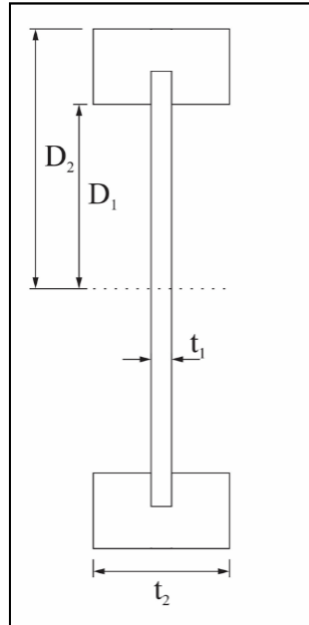


Figura 7: Seção transversal da Viga “I” em estudo.

## 2. METODOLOGIA

O programa experimental da pesquisa foi conduzido de forma a caracterizar todos os materiais empregados em atendimento a normas brasileiras e estrangeiras, quando na falta de normatização nacional. Dessa maneira, foram fabricadas seis vigas “I”, com chapas de OSB compondo a alma e peças de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* constituindo as mesas superior e inferior, em conformidade com a figura 8. O perfil escolhido foi o PRI-60, com altura de 241 mm e comprimento de 2400 mm.



Figura 8: Vigas “I-Joists” confeccionadas.

As vigas foram ensaiadas à flexão com configuração conhecida como flexão em quatro pontos, vide figura 9 e em conformidade com a norma [22]. Tal norma indica que o tempo de ensaio deve ser aproximadamente de dez minutos, sendo que a carga máxima não deve ser alcançada em menos de seis minutos e nem mais do que vinte minutos. Os deslocamentos foram medidos com o auxílio de transdutores de deslocamento modelo Mitutoyo DT-100 localizado no centro e relógios comparadores modelo 543-682B localizados nas extremidades. O equipamento de aquisição de dados utilizado foi o LYNX 2161. Ademais, os softwares utilizados foram: Aq Dados e Aq Analysis.

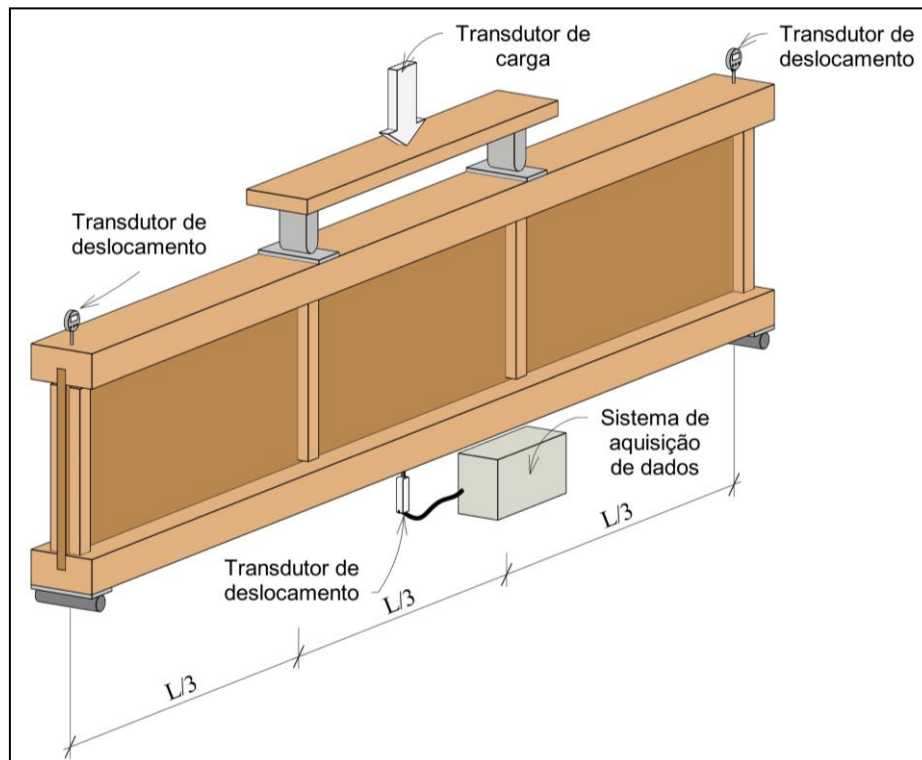


Figura 9: Configuração de ensaio da viga “I-Joist”.

Foram conduzidos ensaios preliminares de caracterização, como determinação do teor de umidade, densidade, e flexão das peças das mesas, de acordo com as normas [22] e [11]. Além do mais, [25] realizou ensaios para obtenção das constantes elásticas para caracterização da madeira a ser empregada, sendo os módulos de elasticidade longitudinal, radial e tangencial, os módulos de elasticidade transversal ( $G_{RT}$ ,  $G_{LT}$  e  $G_{LR}$ ) e os coeficientes de Poisson ( $\nu_{RL}$ ,  $\nu_{TL}$  e  $\nu_{TR}$ ), representados na tabela 2.

Tabela 2: Valores médios para as constantes elásticas da madeira ( $E_i$  e  $G_{ij}$  em MPa) [25]

$E_L$	$E_R$	$E_T$	$G_{RT}$	$G_{LT}$	$G_{LR}$
22014,85	1494,08	781,13	109,92	599,44	878,04
$\nu_{RL}$	$\nu_{TL}$	$\nu_{LR}$	$\nu_{TR}$	$\nu_{LT}$	$\nu_{RT}$
0,03	0,02	0,46	0,32	0,55	0,61



Os mesmos autores também apresentam a caracterização do OSB, como os módulos de elasticidade a flexão longitudinal ( $E_1$ ), transversal ( $E_2$ ), vertical e de cisalhamento ( $G_{12}$ ), bem como o Poisson longitudinal-transversal ( $\nu_{12}$ ) e transversal-longitudinal ( $\nu_{21}$ ), apresentados na tabela 3. Assim, os valores obtidos por meio desses ensaios foram utilizados nos modelos analíticos propostos. Após ensaios prévios, foram feitos os entalhes nas mesas e nas almas de cada uma das vigas, a fim de montá-las posteriormente.

Tabela 3: Valores médios para as constantes elásticas das chapas de OSB (MPa) [25]

Módulo de Elasticidade				$\nu_{12}$	$\nu_{21}$
Flexão Longitudinal ( $E_1$ )	Flexão Transversal ( $E_2$ )	Flexão Vertical	Cisalhamento ( $G_{12}$ )		
4246,74	2391,39	3246,26	1131,05	0,54	0,31

Na montagem, utilizou-se o adesivo fenol-resorcinol-formaldeído (PRF), em conjunto com o preparado endurecedor FM-60-M (em pó) na proporção por peso de 20%. Assim, uniram-se as peças com pressão de colagem constante, controlada por torquímetro, de 5 N.m, por oito horas. Ademais, de modo a evitar uma possível instabilidade local da alma durante o ensaio, foram instalados enrijecedores nos pontos de aplicação da carga e nos apoios, de acordo com especificação da APA PRI [15].

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de determinação do teor de umidade e densidade básica, com os respectivos valores médios, número de corpos de prova e coeficiente de variação. Esses ensaios de caracterização foram realizados nas mesmas condições de umidade dos ensaios das vigas.

Tabela 4: Resultados dos ensaios preliminares de caracterização dos materiais

Ensaio	<i>Eucalyptus grandis</i>
Teor de Umidade	18,08% (7CP) CV = 11,91%
Densidade básica	549,15Kg/m <sup>3</sup> (7CP) CV = 8,37%

A tabela 5 apresenta os valores da rigidez efetiva experimental das mesas das vigas, obtidas através do ensaio de flexão. Tal ensaio foi efetuado até o limite elástico, sendo que a flecha não superou 1/200 do vão das peças.

Tabela 5: Valores de rigidez efetiva experimental

Viga	Mesa	$EI_{(ef)exp}$ (N.mm <sup>2</sup> )
1	superior	3,67E+09
	inferior	3,76E+09
2	superior	3,26E+09
	inferior	3,19E+09
3	superior	3,14E+09
	inferior	3,27E+09
4	superior	3,11E+09
	inferior	3,20E+09
5	superior	3,17E+09
	inferior	3,02E+09
6	superior	2,94E+09
	inferior	2,82E+09

Comparando os resultados experimentais com cada um dos métodos de cálculo já apresentados, os valores obtidos para o deslocamento e a diferença entre os modelos, podem ser analisados segundo as tabelas 6 e 7. Primeiramente, comparando o resultado obtido experimentalmente com o modelo sugerido por Rancourt [20] e, em seguida, o resultado experimental com o modelo do PTV [25].

Tabela 6: Deslocamento modelo analítico de Rancourt e experimental

Viga	Rancourt (mm)	Resultado experimental (mm)	Diferença (%)
1	3,19	3,28	2,69
2	3,47	3,60	3,69
3	3,50	3,66	4,36
4	3,58	3,65	1,84
5	3,62	3,90	7,06
6	4,58	5,04	9,18

Tabela 7: Deslocamento modelo analítico de Young e Budynas e experimental

Viga	PTV (mm)	Resultado experimental (mm)	Diferença (%)
1	3,27	3,28	0,19
2	3,56	3,60	1,36
3	3,59	3,66	2,07
4	3,66	3,65	-0,44
5	3,71	3,90	4,96
6	4,66	5,04	7,52

Observa-se, mediante as tabelas 6 e 7 que os menores deslocamentos ocorreram nas vigas com maior rigidez. A maior diferença entre os valores de flecha sucedeu na viga número 6 com 9,18%.

Nas vigas de 1 a 4 são observadas diferenças de no máximo 4,36%. Além disso, é possível perceber que o resultado experimental foi compatível com os modelos analíticos propostos.

#### 4. CONCLUSÕES

As vigas “I-Joists” possuem comportamento estrutural fortemente influenciado por deformações por cisalhamento na alma. Dessa maneira, através de estudo via metodologia analítica e experimental, observa-se a necessidade de considerar a parcela proveniente do esforço cortante nos modelos de cálculo para vigas com perfil em “I”.

Ademais, verificou-se que o modelo analítico via Princípio dos Trabalhos Virtuais proporcionou resultados de deslocamento mais próximos daqueles obtidos experimentalmente, evidenciando maior precisão do modelo de cálculo, em comparação com o de Rancourt. Contudo, o modelo de Rancourt proposto pela APA, apesar de ser caracterizado por metodologia de cálculo simplificada, concede resultados satisfatórios.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo apoio financeiro do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) através do Programa de Educação Tutorial (PET) desenvolvido pelo Ministério da Educação (MEC) e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Campo Mourão pela disponibilização de equipamentos e infraestrutura necessários para a realização desse trabalho.

#### REFERÊNCIAS

- [1] CARRASCO, E. V. M., AZEVEDO JUNIOR, A. P. Avaliação não destrutiva de propriedades mecânicas de madeiras através de ultra-som - fundamentos físicos e resultados experimentais. *Cerne*, Lavras, v.9, n.2, 2003.
- [2] SILVA, C. C. e Análise teórica e experimental de vigas de madeira de seção transversal “I” para uso em fôrmas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- [3] GREEN, D. W. e HERNANDEZ, R. Standards for Structural Wood Products and Their Use in the United States. *Wood design focus* v.9, n.3, p.10, 1998.
- [4] PEDROSA, A. L. Desempenho estrutural de vigas “I” constituídas por PLP e compensado de *Pinus Taeda* L. e *Eucalyptus Dunnii* Maiden e OSB de *Pinus* spp. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- [5] MENDES, L. M; IWAKIRI, S; MATOS, J. L. M; JUNIOR, L. M; SALDANHA, L. K. *Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). *Ciência Florestal*. v. 12, n. 2, p. 135-145. Santa Maria, setembro 2002. ISSN 0103-9954.
- [6] FISETTE, PAUL. *Chosing Between Oriented Strandboard and Plywood*, 2005.
- [7] AKRAMI, A; BARBU, M. C; FRUEHWALD, A. Characterization of properties of oriented strand boards from beech and poplar. *European Journal of Wood and Wood Products*. v. 72, n. 3, p. 393-398. Berlin, may 2014. ISSN 0018-3768.
- [8] GÓES, J. L. N. Análise de Vigas de Madeira Pregadas com Seção Composta I. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- [9] RIBEIRO, Wilson. F. Análise de diferentes resinas e geometrias de ligações para vigas de madeira compostas em perfil I. 2012. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2012.
- [10] SEDOSKI, M. C.; RIBEIRO, W. F.; GÓES, J. L. N. Avaliação teórica e experimental em vigas de madeira compostas em perfil I. In: Encontro Tecnológico de Engenharia Civil e Arquitetura, 8, 2011, Maringá. Anais. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2011.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997.

- [12] ASTM, American Society for Testing and Materials. D5055: Standard Specification for Establishing and Monitoring Structural Capacities of Prefabricated Wood I-Joists. West Conshohocken, 2004.
- [13] WILLIAMSON, P. E. APA engineered Wood Handbook. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 2002.
- [14] ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. Performance Rated I-Joists. Form N° EWS Z725D. 2012.
- [15] ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. Performance Rated I-Joists. Form N° PR-L310C. 2016.
- [16] LEICHTI, R. J.; FALK, R. H; LAUFENBERG, T. L. Prefabricated wood composite I-Beams: A literature review. Wood and Fiber Science 1990.
- [17] GARBIN, D. Análise do desempenho estrutural de vigas i com mesas constituídas de madeiras reaproveitadas de batentes. 2013. 69f. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.
- [18] AMERICAN WOOD COUNCIL. Guideline Wood I-Joists: manual for engineered wood construction. American Forest & Paper Association, 1999. 36 p.
- [19] RANCOURT, Derek. G. Structural Behavior of Wood I-Joist / OSB Roof Panel Assemblies. Master of Science (in Civil & Environmental Engineering)-University of Maine, Orono, 2008.
- [20] DIAS, G. L. Determinação de propriedades mecânicas do OSB. 2004. IX Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Cuiabá, julho de 2004.
- [21] SORIANO, H. L. Análise de Estruturas Método das Forças e Método dos Deslocamentos. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.
- [22] ASTM, American Society for Testing and Materials. D198: Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes. West Conshohocken, 2002.
- [23] TIMOSHENKO, Stephen E.; GERE, James E. Mecânica dos Sólidos: Volume II. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora, 1984.
- [24] YOUNG, Warren C; BUDYNAS, Richard G. Roark's Formulas for Stress and Strain. New York: McGraw-Hill, 2002.
- [25] PIZZINI, Paulo R.; GÓES, Jorge L. N. Caracterização das Constantes Elásticas do OSB, com Vistas a Simulação Numérica de Vigas "I-Joists". Iniciação Científica (Graduação) – Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.