

ANÁLISE DA MADEIRA Balsa APLICADA A UM VANT AERODESIGN

Luís Fernando Taiacol Munhoz, luisfernandotmunhoz@gmail.com¹

Miguel Ângelo Menezes, miguel.menezes@unesp.br²

¹Engenharia Mecânica, FEIS-UNESP, Graduando Bolsista PIBIC, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.

²Engenharia Mecânica, FEIS-UNESP, Doutor, Professor Assistente Doutor, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.

Resumo. O presente trabalho estudou as propriedades mecânicas da madeira balsa e suas características estruturais. Para tal foi realizado ensaios de tração na madeira balsa, um material compósito, a fim de obter suas propriedades, e corroborar alguma das literaturas, que estão em contradição, com as mais novas apontando uma tensão de ruptura da madeira de 3 MPa, já as antigas apontam tensões acima de 10 MPa, com a diferença entre ambos sendo as normas dos ensaios utilizadas, com isso indicando que as normas afetam diretamente os dados obtidos. Também realizou-se um estudo da estrutura da madeira balsa, na qual foi possível entender o porquê os dados dos ensaios apresentam desvios tão elevados, uma vez que a madeira balsa é de origem viva, há inúmeros fatores que influenciam o crescimento e desenvolvimento das fibras da madeira durante o plantio, com tais diferenças sendo apreciáveis dentro de um mesmo lote, por isso é necessário um grande número de corpos de provas para os ensaios, com a maior dificuldade sendo o alto custo deste material, mesmo que dentre as alternativas este seja o mais acessível para sua função.

Palavras-chave: Material Ortotrópico. Ensaio de Tração. Madeira Balsa. VANT. Compósitos.

Abstract. The present work studied the mechanical properties of balsa wood and its structural characteristics. To this end, tensile tests were carried out on balsa wood, a composite material, in order to obtain its properties, and corroborate some of the literature, which is in contradiction, with the newer ones pointing to a rupture stress of 3 MPa in the wood, while the older ones point out tensions above 10 MPa, with the difference between both being the test standards used, thus indicating that the standards directly affect the data obtained. A study of the structure of Balsa wood was also carried out, in which it was possible to understand why the test data presented such high deviations, since Balsa wood is of living origin, there are numerous factors that influence the growth and development of fibers of wood during planting, with such differences being appreciable within the same batch, which is why many specimens are needed for testing, with the greatest difficulty being the high cost of this material, even if within the alternatives this is the most accessible for your role.

Keywords: Orthotropic Material. Tensile Test. Balsa Wood. UAV. Composites.

1. INTRODUÇÃO

A madeira de modo geral é utilizada desde os primórdios da humanidade, sendo ao longo do tempo muito explorada pela engenharia, mesmo atualmente com o surgimento de materiais compósitos ela ainda é muito utilizada, devido seu custo muito mais baixo em relação aos demais materiais. Na indústria aeronáutica esse material não passou despercebido, um tipo de madeira específico a balsa, atendeu as necessidades dessa indústria nas décadas de 1900, 1910 e 1920, sendo na primeira guerra mundial utilizada de forma massificada para construção de aeronaves para a guerra. Com o advento de motores mais potentes ela entrou em desuso, porém, atualmente com a miniaturização das aeronaves e surgimento de VANTs, ela voltou a ser utilizada, pois essas aeronaves apresentam dimensões muito reduzidas o que limita a potência de seus motores. A madeira balsa é proveniente da árvore *Ochroma Pyramidale* chamada popularmente de pau-de-balsa, sendo nativa do equador. E hoje em dia é produzida em escalas bem elevadas para atender o mercado aeronáutico, com algumas implementações na indústria naval, principalmente em lanchas e barcos de alto desempenho e, tendo alguns estudos apontando a viabilidade da mesma, em equipamentos ortopédicos devido sua boa relação de resistência mecânica e baixo peso específico. Atualmente uma técnica muito utilizada é revestir chapas de madeira balsa com materiais compósitos como fibra de carbono, essa estrutura sanduíche eleva de forma acentuada a resistência, enquanto a madeira fornece todo o volume necessário, uma vez que ela consegue transmitir as forças de forma muito eficiente, sem elevar muito o peso da estrutura; sendo a madeira balsa o material mais acessível para tal função, com seus concorrentes sendo

de fabricação muito mais complexa e preço mais elevado. A motivação principal desse trabalho é de reduzir o peso da aeronave com o uso desses materiais, projetada pela Equipe de AeroDesign do campus local, Equipe Zebra. Uma vez tendo o conhecimento das propriedades do material, é possível projetar a aeronave de forma que o material não seja superestimado ou subestimado. Além disto, há uma economia a longo prazo com a redução do uso da madeira balsa, que possui um custo elevado. Sendo esse estudo extremamente necessário devido as poucas referências disponíveis na literatura, além do fato de ser contraditórias, com estudos mais novos discordando de dados de estudos mais antigos, como é o caso entre [1], 2019 que indica uma tensão máxima de tração da madeira balsa de aproximadamente 3,5 MPa e [2], 1992 que indica uma mesma tensão próxima de 18 MPa. Essa escassa literatura ocorre devido à complexidade do material, que é ortotrópico, ou seja, apresenta tensões diferentes em cada um de seus eixos, e de se tratar de um material de origem viva, que apresenta inúmeros fatores que influenciam suas propriedades mecânicas, como disponibilidade de nutrientes e de água. Portanto, o objetivo deste trabalho é de determinar as propriedades mecânicas da madeira balsa por meio de ensaios de tração, de forma que o resultado obtido possa ser utilizado e replicado pela equipe de AeroDesign, Equipe Zebra, do campus local, além de aumentar a literatura nacional sobre tal tópico, que é muito escassa.

2. Revisão Bibliográfica

O ensaio de tração utilizado, é a melhor maneira de identificar o comportamento de um material de forma genérica, para tal é preciso saber como o ensaio funciona e como retirar do gráfico gerado pelo ensaio os dados desejados. Os dados mais importantes que podem ser levantados de um material para a finalidade de dimensionamento estrutural são a tensão de escoamento, o módulo de elasticidade e a tensão de ruptura (Ashby, 1992).

Dentre os dados retirados do gráfico, tem-se a tensão de engenharia (σ) que é a força dividida (F) pela área (A), no ensaio de tração é a área transversal inicial indicada na Equação 1:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Outro dado é o módulo de elasticidade (E) visto na Equação 2 que é o coeficiente angular da região linear do gráfico tensão-deformação:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \Rightarrow \sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2)$$

Na qual (ε) é a deformação. A partir disso é possível calcular a tensão por outra fórmula:

Há também o coeficiente de Poisson (ν) que pode ser calculado a partir das deformações e utilizado para encontrar a o módulo de cisalhamento (G) que funciona da mesma forma que o módulo de elasticidade para tensões de cisalhamento visto nas Equações 3 e 4. (Ashby, 1992).

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (3)$$

$$\nu_{12} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \quad (4)$$

Portanto, o objetivo do ensaio de tração neste trabalho é de se obter, a tensão de ruptura, o módulo de elasticidade do material, tensão máxima e o módulo de resiliência. Todos esses dados podem ser vistos em um gráfico de Tensão x Deformação de engenharia, que é obtido por meio de um ensaio de tração, onde a máquina de ensaios traciona um corpo de prova. No caso de madeiras, o limite Johnson, tensão limite de escoamento e o limite de proporcionalidade são coincidentes, ou muito próximos de tal forma que é a válida a aproximação de que são o mesmo ponto (Silva e Kyriakides, 2007).

Vale ressaltar, que no ensaio de tração a área de seção transversal do corpo de prova diminui ao longo do tempo, com a curva tensão-deformação verdadeira levando isso em consideração, porém como é um nível de complexidade muito elevado, e sua divergência ocorre somente na área de deformação plástica, não é necessário trabalhar com essa curva verdadeira, pois o dimensionamento estrutural limita o uso do material a sua zona de regime elástico. Também é necessário realizar uma análise estatística, pois é preciso testar mais de um corpo de prova, sendo assim, levanta-se as médias e os desvios das propriedades medidas, com um estudo de mais longo prazo, ensaiando vários lotes, podendo levantar uma média das médias e analisar um intervalo de confiança.

Outro agravante no quesito da variação dos dados é o fato da madeira Balsa se enquadrar como um material ortotrópico que são aqueles que apresentam três planos de simetria ortotrópica, ou seja, propriedades mecânicas distintas para cada eixo, segundo Silva e Kyriakides, 2007, de forma que para se utilizar essas materias em dimensionamentos é necessário levar esse fator em consideração, para tal, precisa-se adotar o sistema da Figura 1 como referência, onde 1,2 e 3 são eixos de tensão normal, enquanto 12, 13, 21, 31, 23, 32 são planos de distensões, ou seja, cisalhamentos.

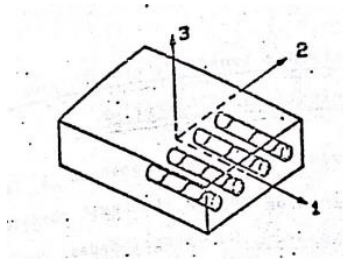


Figura 1. Eixos de referência (Al-Qureshi, 1993).

Tendo isso em mente, cada eixo 1, 2 e 3 possuem suas próprias propriedades, assim é preciso utilizar a equação 5, na qual σ_i se refere a tensão normal no eixo i e τ_{ij} a tensão de cisalhamento nos eixos i e j , ressaltando que $\tau_{ij} = \tau_{ji}$, já ε_i indica a deformação no eixo i e γ_{ij} a distorção de planos entre os eixos i e j , sendo também válido a igualdade $\gamma_{ij} = \gamma_{ji}$ (Al-Qureshi, 1993).

Ainda segundo Al-Qureshi, 1993 a matriz de caracterização do material ortotrópico pode ser resumida para um estado plano de tensão, como ocorre no ensaio de tração, uma vez que a espessura do corpo de prova é muito pequena em comparação com o seu comprimento, na expressão 5 a matriz de rigidez e na expressão 6 a matriz *compliance*:

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = * \begin{bmatrix} \frac{E_1}{1 - \nu_{21}\nu_{12}} & \frac{\nu_{12}E_1}{1 - \nu_{21}\nu_{12}} & 0 \\ \frac{\nu_{12}E_1}{1 - \nu_{21}\nu_{12}} & \frac{E_2}{1 - \nu_{21}\nu_{12}} & 0 \\ 0 & 0 & G_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = * \begin{bmatrix} 1/E_1 & -\nu_{21}/E_2 & 0 \\ -\nu_{21}/E_2 & 1/E_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/G_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad (6)$$

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de levantar as propriedades mecânicas da madeira balsa, foi escolhido o ensaio de tração, para tal, vale ressaltar que a missão do AeroDesign é de realizar em média 5 a 6 voos de curta duração a temperatura ambiente, por tanto, efeitos de temperatura e fadiga não se fazem presentes, assim ensaios de fluência, fadiga e impacto não são necessários.

Os corpos de prova utilizados seguem a norma ISO 13061:2014 standard dispostas em Zotelle, 2019. Sendo corpos de prova retangulares, como da Figura 2, com as especificações em milímetros.

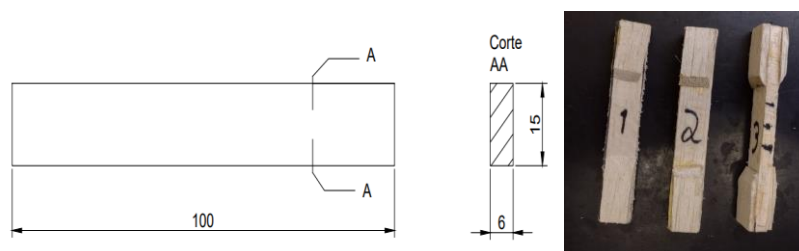


Figura 2. Corpos de prova retangular.

Para facilitar o encaixe na máquina sem comprometer os corpos de prova foi colocado calços do próprio material nas suas extremidades (tabs), como pode-se ver na Figura 2, também foi pintado nos corpos de provas marcações equidistantes para facilitar a fixação na máquina de ensaios e verificar possíveis escorregamentos.

Foi necessário realizar dois ensaios, um com a força paralela a fibra e outra com a força ortogonal, uma terceira configuração não foi necessária, devido a aproximação entre os eixos radiais e tangenciais da madeira balsa, que é melhor explicado no tópico de estudo da estrutura. Foi realizado 7 ensaios paralelos e 3 ortogonais com sucesso, o plano era de realizar 10 ensaios de cada, porém alguns corpos de prova apresentaram defeitos durante o ensaio, como a fratura por ter sido preso de forma incorreta no equipamento.

A máquina de ensaio de tração utilizado é vista na Figura 3, note que a fixação do corpo de prova é por meio de uma prensa rosqueada manual, assim é possível controlar a força, para não ocorrer o esmagamento do corpo. O tratamento dos dados foi realizado por meio do software Excel, onde se pode levantar as curvas tensão-deformação e uma aproximação para função polinomial a partir da qual é possível obter os valores numéricos das propriedades mecânicas desejadas. Posteriormente, com um micrômetro foi medido as deformações finais dos corpos de prova.



Figura 3. Máquina de ensaio de tração.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo Silva e Kyriakides, 2007, a madeira balsa apresenta uma estrutura fibrosa com a seção transversal sendo hexagonal com o interior vazio, tal configuração fornece ao material uma estrutura com um peso específico muito baixo. Essa estrutura também não é homogênea, há vasos de seiva que passam pela parte interna e traqueídes (células condutoras de água) na parte externa, o que faz o material se tornar ainda mais ortotrópico. Na Figura 4 é possível ver essa estrutura descrita.

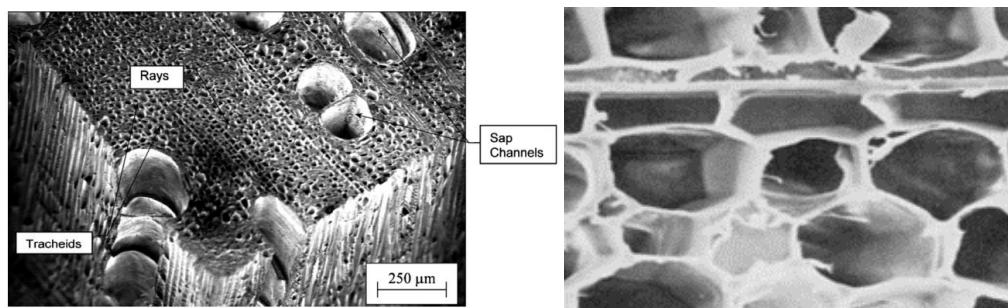


Figura 4. Microestrutura da madeira balsa (Silva e Kyriakides, 2007).

Note que os tubos de secção hexagonal são extremamente compridos, possuem uma proporção aproximada de 16:1, fazendo o material se comportar de maneira fibrosa. Boa parte da resistência desse material é devido ao seu comportamento fibroso e a secção hexagonal, esse tipo de formato de seção apresenta uma excelente eficiência em absorver energia, sendo um dos únicos materiais com comportamento estrutural semelhante ao de favos de mel (Silva e Kyriakides, 2007).

Como indica a Figura 4 há dois tipos de células, as hexagonais descritas e as células de raio, ambas as células apresentam algumas paredes internas ocasionalmente, porém as células de raio apresentam uma concentração muito superior destas. As células de raio são 14% do total enquanto as células normais são 86% do total. Na Figura 5 é possível ver as dimensões das células e que as extremidades das células apresentam um formato pontiagudo, como os eixos radial e tangencial tem a mesma disposição das células, suas propriedades mecânicas são as mesmas, assim é válido uma aproximação de que os eixos 2 e 3 tem as mesmas propriedades (Harrysson e Ashby, 1982). De forma mais simples, as especificações das dimensões dos dois tipos de células estão dispostas na tabela 1. Ainda na Figura 5 é possível ver os eixos utilizados, o eixo axial apresenta maior resistência, devido a posição das células que possuem os hexágonos no plano radial-tangencial. Enquanto a resistência nos planos radial e tangencial são mais moderadas (Silva e Kyriakides, 2007).

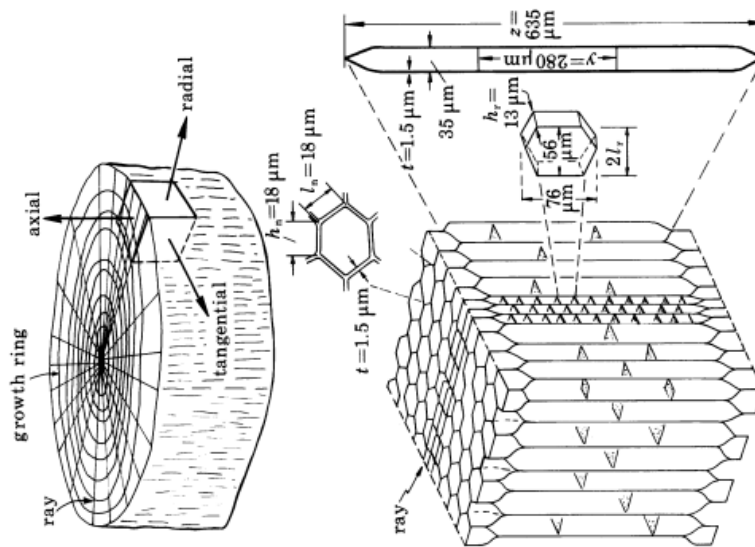


Figura 5. Estrutura celular da madeira balsa (Harrysson e Ashby, 1982).

Dado	Célula normal	Célula de raio
Grossura (μm)	1,5	1,5
Comprimento lateral do hexágono (l) (μm)	18	28
Lado superior do hexágono (h) (μm)	18	13
Altura total (μm)	635	76
Altura da subdivisão da célula (μm)	280	-
Fração volumétrica do tipo celular	0,86	0,14

Tabela 1. Medidas celulares (Harrysson e Ashby, 1982).

Pode-se observar que as células embora tenham dimensões muito pequenas, distribuem as tensões aplicadas em si para as células vizinhas, e possuem uma boa estrutura para deformar, algo que de fato é visível ao produzir chapeados (cobertura) de um AeroDesign, onde lâminas de madeira balsa molhada são moldadas até em formatos de “U”, porém quando secos apresentam certa fragilidade.

O peso específico da madeira balsa varia em torno de 40 kg/m^3 à 380 kg/m^3 sendo muito mais leve do que as demais que são em torno de 1500 kg/m^3 , ou seja, a madeira balsa apresenta um peso específico até 97% menor que o peso específico médio das madeiras convencionais (Silva e Kyriakides, 2007). Segundo Harrysson e Ashby, 1982, os fatores que alteram o peso específico da madeira é o número de células, porém de forma muito baixa, e a espessura das paredes celulares, de forma muito mais expressiva. Que segundo Hellmeister, 2017, o peso específico da madeira balsa é diretamente proporcional à sua resistência mecânica. Ainda segundo Hellmeister, 2017, a madeira balsa apresenta paredes celulares mais grossas de acordo com o aumento de nutrientes e água no plantio da madeira, sendo assim, pode-se variar a espessura das paredes dentro de um mesmo corpo de prova, o que provoca concentradores de tensão.

Também se utilizou um estereomicroscópio para obter algumas imagens da madeira balsa. Na Figura 6a é possível ver as fibras da madeira balsa, essas fibras têm uma secção transversal hexagonal como descrito em outro tópico, na parte direita da Figura é possível ver um grupo de células de raio.

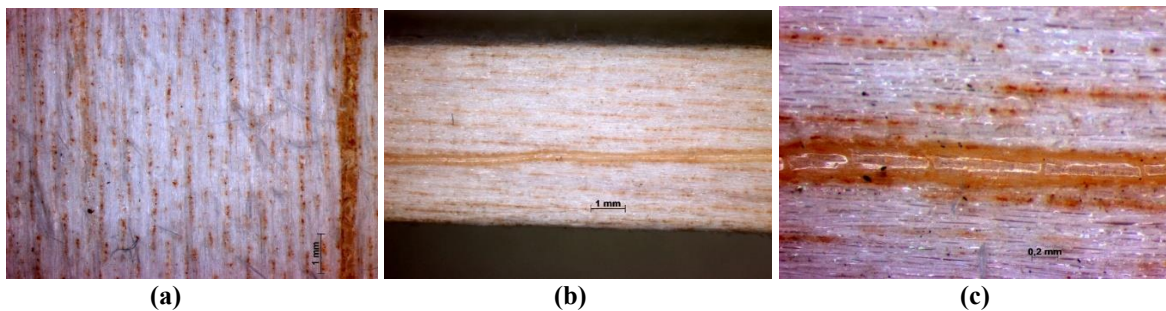


Figura 6. Macroscopia da madeira balsa denotando células de raio.

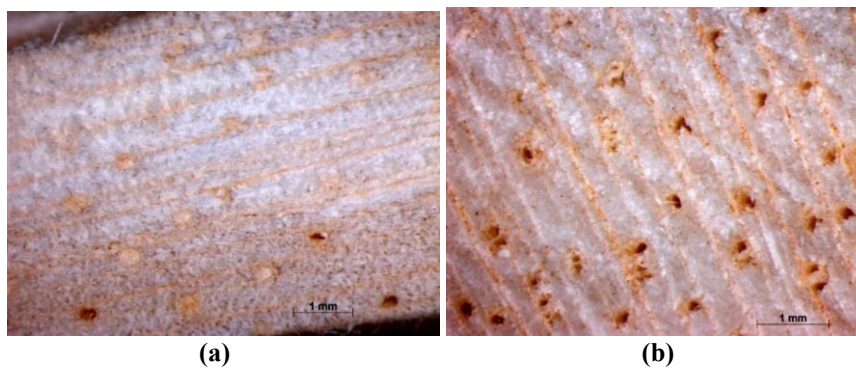


Figura 7. Macroscopia da madeira balsa denotando canais de seiva.

Todos esses fatores apresentados nas macrografias quanto os apresentados pelas referências são origens de descontinuidades no material, o que prejudica a precisão dos ensaios de tração; essas descontinuidades ocorrem pelo fato da madeira ser um material de origem viva; assim se torna impossível conseguir o mesmo valor duas vezes até mesmo dentro de um mesmo lote, o que eleva muito a falta de precisão nos dados. A melhor forma de contornar isso, é realizando vários trabalhos como este para levantar uma média das médias. A dificuldade dessa opção é o preço elevado do material, por isso, é melhor realizar os ensaios conforme a Equipe Zebra adquirir novos lotes do material.

Na questão dos ensaios, foram feitos com a força aplicada paralelamente a fibra, neles foi levantado as curvas tensão-deformação da Figura 8, nela se pode observar que as tensões obtidas foram de aproximadamente 3,5 MPa. Pode-se reparar também o comportamento distinto de alguns corpos de prova como os corpos de prova 2 e 7, que apresentaram um rompimento prematura de algumas fibras, devido ao efeito das descontinuidades, comprometendo o comportamento do corpo de prova.

Vale ressaltar que a madeira balsa é comercializada em três tipos, as de baixa, média e alta densidade, a de média densidade é a mais comum e mais comercializada, portanto foi escolhida este tipo para os ensaios de tração. Em relação a precisão dos ensaios, pode-se ver que os ensaios com a força ortogonal tiveram uma precisão muito maior, isso ocorre devido ao fato de que este ensaio testou as formas com que as fibras estão coladas umas nas outras, o que é bem mais homogêneo que a fibra em si, não dependendo de tantas variáveis.

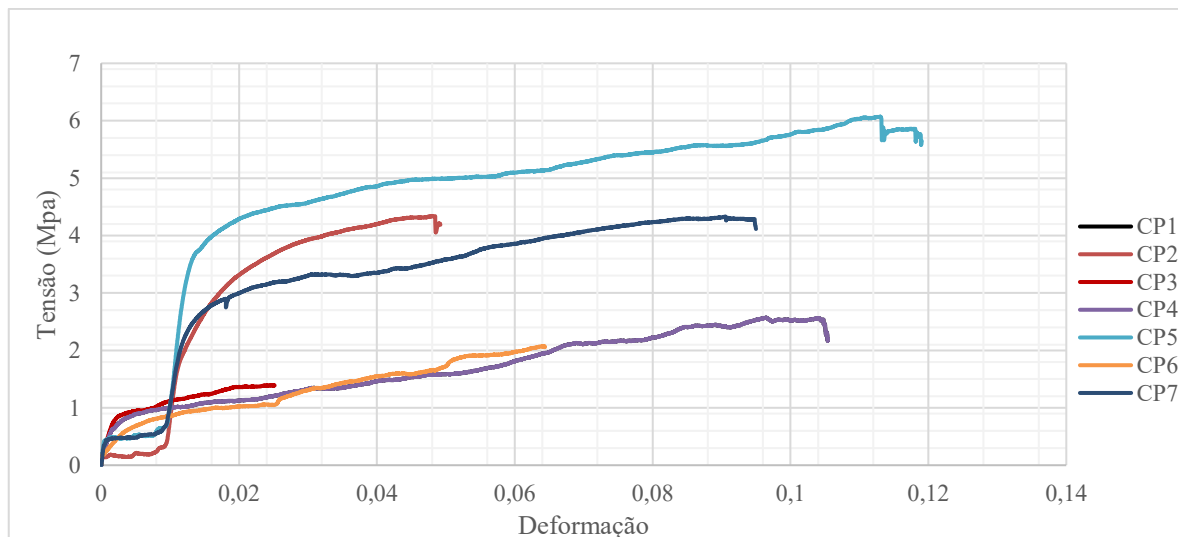


Figura 8. Resultado dos Ensaios de Tração com força Paralela a fibra.

Para o ensaio de tração com força ortogonal, os dados foram mais precisos, devido a colagem da fibra ser mais homogênea como explicado anteriormente, as curvas desse ensaio estão na Figura 9, nela se pode ver que o corpo de prova apresentou um comportamento mais constante. Outro aspecto interessante é o comportamento frágil nesse caso, não há quase nenhum comportamento plástico do material, diferentemente do visto no ensaio de tração em paralelo.

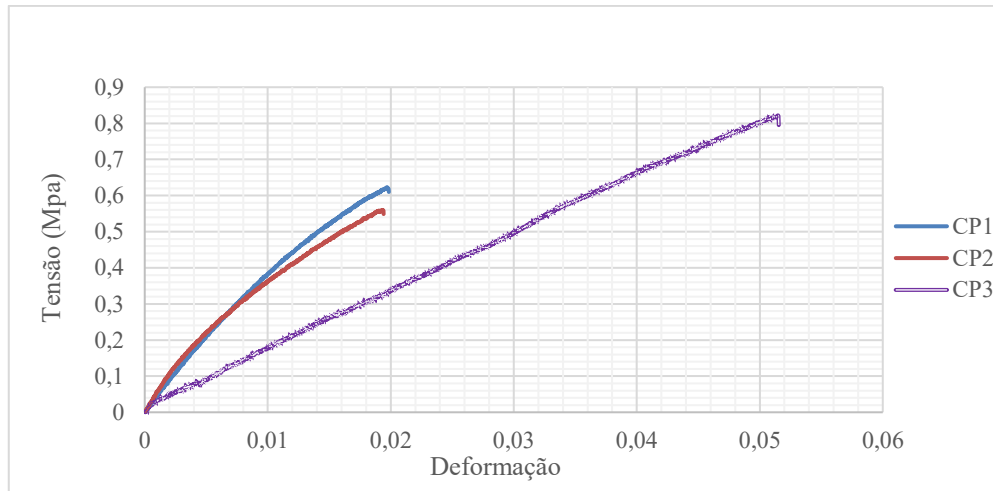


Figura 9. Resultado dos Ensaio de Tração com força Ortogonal a fibra.

Como dito anteriormente, a precisão do ensaio ortogonal foi superior, e os valores obtidos foram muito inferiores, retirando os dados do gráfico, e medindo as deformações finais dos corpos de prova foi possível levantar os dados para ambos os casos, tais dados estão na Tabela 2; nela se pode ver que a fibra da madeira balsa é muito mais resistente que a colagem, devido a capacidade dos hexágonos que formam a fibra de absorver a energia e dissipá-la para as células vizinhas, algo que não ocorre com a força aplicada ortogonalmente a fibra.

Pode-se reparar que o desvio foi muito elevado, principalmente nos módulos de resiliência e tenacidade, por conta do comportamento muito diferente das curvas, visto na Figura 8, além de que o método que o *software Excel* determina a integral das curvas é por meio de uma aproximação numérica que por si só possui desvios consideráveis.

Parâmetro	Força Paralela			Força ortogonal		
	Medida	Desvio padrão	Desvio relativo	Medida	Desvio padrão	Desvio relativo
Tensão Máxima (MPa)	3,3	1,6	49%	0,67	0,14	20%
Tensão de Ruptura (MPa)	2,9	1,7	58%	0,65	0,13	20%
Tensão de Escoamento (MPa)	2,1	1,6	78%	0,67	0,14	20%
Tensão Limite de Elasticidade (MPa)	1,5	1,1	74%	0,67	0,14	20%
Tensão de Proporcionalidade (MPa)	1,7	1,2	75%	0,67	0,14	20%
Módulo de Elasticidade (GPa)	0,40	0,19	47%	0,028	0,011	39%
Módulo de Tenacidade (kJ/m³)	213	177	83%	12	9	74%
Coefficiente de Poisson eixos 1/2	0,20	0,15	75%	-	-	-
Coefficiente de Poisson eixos 1/3	0,15	0,11	71%	-	-	-
Coefficiente de Poisson eixos 2/1	-	-	-	0,60	0,19	32%
Coefficiente de Poisson eixos 3/1	-	-	-	0,15	0,07	46%

Tabela 2. Dados obtidos pelos ensaios de tração

Os desvios elevados eram esperados, porém se pretende melhorá-los com um tratamento estatístico mais adequado, aumentando o número de corpos de prova ensaiados em diferentes lotes. Analisando um ensaio de tração antigo da Equipe Zebra de AeroDesign, os dados obtidos pela equipe são muito similares aos obtidos no ensaio teste, porém o corpo de prova foi engessado na máquina, com o gesso podendo facilmente ter contaminado a madeira, e como o ensaio teste realizado antes do desenvolvimento deste trabalho teve fraturas por cisalhamento e não tração, acredita-se que tais dados foram comprometidos, mesmo que estejam de acordo com Ashby, 1992. Os dados obtidos no ensaio em si que são muito inferiores estão de acordo com Zotelle, 2019, e seguiram as normas ISO para o ensaio, algo que não ocorreu no ensaio antigo da Equipe Zebra.

Mesmo assim, é impossível explicar com certeza o comportamento do material, sendo necessário mais ensaios para uma análise estatística mais apurada; sendo que o único comportamento que se pode afirmar com certeza são os dados obtidos pelo ensaio de tração ortogonal, visto que nestes não há contradições na literatura e os desvios são aceitáveis. Com os dados disponíveis foi possível obter a matriz de rigidez da madeira balsa e sua inversa para estado plano de tensão que estão dispostas nas equações 7 e a matriz inversa na 8.

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = * \begin{bmatrix} 478 * 10^9 & 193 * 10^8 & 0 \\ 193 * 10^8 & 324 * 10^8 & 0 \\ 0 & 0 & 126 * 10^9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = * \begin{bmatrix} 2.486 * 10^{-12} & -1.479 * 10^{-12} & 0 \\ -1.479 * 10^{-12} & 3.513 * 10^{-11} & 0 \\ 0 & 0 & 7.932 * 10^{-12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad (9)$$

3 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que os ensaios de tração foram um sucesso, assim como a técnica empregada no ensaio, sendo possível levantar os dados necessários para o projeto da Equipe Zebra. Essa nova técnica pode permitir uma melhora no ensaio, particularmente, em relação a resultados obtidos anteriormente com corpos de provas maiores, com a impregnação de gesso para facilidade de fixação e prensagem da máquina. Todavia, existe a necessidade de confirmar os resultados obtidos, realizando novos ensaios e tratando-os de forma estatística, visto que a literatura disponível ser muito escassa e contraditória, por exemplo a tensão de ruptura varia cerca de 6 vezes entre Zotelle, 2019 e Ashby, 1992 com os dados obtidos estando em conformidade ao Zotelle, 2019. Também pode-se observar os motivos pelos quais os desvios para tal material ser tão elevados; por se tratar de um material de origem viva; há diversos fatores que influenciam as propriedades mecânicas, principalmente no plantio. A partir de análises micrográficas e macrográficas foi possível observar como o material é constituído e o porquê deste possuir tão boa relação resistência/peso. Como conclusão final deste trabalho, é digno de ser dito que existe uma necessidade de testar cada lote de madeira balsa que será utilizada, uma vez que este material apresenta inúmeras origens de variações como pode ser observado pelas análises micro e macrográficas, embora ele possua essa dificuldade, permanece sendo a melhor opção para projetos que necessitam de grande volume e baixo peso, possuindo boa resistência mecânica.

3. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo financiamento da pesquisa, a parceria UNESP – SANTANDER, a PROGRAD, a Unidade, DEM, DEC, DMAT, DFQ e DEE pelo apoio, como a Equipe Zebra pelos dados do trabalho.

4. REFERÊNCIAS

- ZOTELLE, Ayrton Cavallini, et al. Evaluation of the Mechanical Properties of Balsa Wood and Composite Materials. 2019. Publicação na 25th ABCM International Congress of Mechanical Engineering, Uberlândia, MG, Brazil.
- ASHBY, M. F.; Materials Selection in Mechanical Design; Engineering Department, University of Cambridge, UK. Pergamon Press 1992
- AL-QURESHI, H. A; Introdução aos materiais plásticos reforçados. 1993. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José Dos Campos, SP, Brasil.
- SILVA, André de; KYRIAKIDES, Stelios. Compressive response and failure of Balsa Wood, The University of Texas at Austin. Austin, Texas, United States, 31 de agosto de 2007.
- HARRYSSON, K. E. Easterling, R.; ASHBY, L. J. Gibson and M. F. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences. 1982. Publicação na Royal Society. Pesquisa do Department of Engineering Materials, University of Luleå Sweden; and Department of Engineering, University of Cambridge United Kingdom.
- HELLMEISTER, V.; Painel OSB de Resíduo de Madeira Balsa. Universidade de São Paulo. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais. Tese de Doutorado. Pirassununga 2017. *COBEM2011*. Natal, Brazil.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.