



# Quantificação de defeitos provenientes de secagem em amostras de *Eucalyptus nitens* e análises de fatores de influência.

**Palavras-Chave:** beneficiamento da madeira, fendas internas, madeira estrutural.

**Autores:**

**João Gabriel de Miranda Gomes - Universidade Estadual de Campinas**  
**Profa. Dra. Raquel Gonçalves (orientadora) - Universidade Estadual de Campinas**  
**Mônica Ruy (coorientadora) - Universidade de Santiago de Compostela**

---

## INTRODUÇÃO:

A madeira é um material estrutural que tem sido considerado cada vez mais importante do ponto de vista econômico e da sustentabilidade. O emprego da madeira em estruturas, entretanto, depende do conhecimento profundo das singularidades do material. Algumas singularidades ou defeitos presentes na madeira, como nós, desvio das fibras e fendas ocasionadas por secagem ou tensões internas, influenciam sua qualidade mecânica (FSC Espanha, 2018) e, portanto, devem ser conhecidos e minimizados sempre que possível. O processo de secagem representa uma das etapas fundamentais para a obtenção de madeira de boa qualidade, pois é responsável pelo surgimento de colapsos e fendas.

Esse projeto de Iniciação Científica foi desenvolvido por meio de parceria do grupo de pesquisa do Laboratório de Ensaio Não Destrutivos (LabEND) da FEAGRI/UNICAMP com o grupo de pesquisas da Plataforma de Engenharia da Madeira Estrutural (PEMADE), Universidade de Santiago de Compostela, na Espanha. A PEMADE está desenvolvendo um projeto multidisciplinar – *Economía circular de la madera hacia una construcción bajo-energética/Unidad Mixta de Investigación* - cujo objetivo é avaliar a economia circular da madeira de diferentes espécies, entre elas o *Eucalyptus nitens*. O estudo visa a redução do consumo energético, através de trabalhos florestais (dendrometria), processos de beneficiamento da madeira (desdobro e secagem), tratamentos químicos e análise estrutural de produtos finais, e conta com a colaboração de professores e pesquisadores brasileiros vinculados ao LabEND - Unicamp.

Considerando esses aspectos, o objetivo dessa pesquisa foi quantificar fendas internas da madeira de *Eucalyptus nitens* para análise de qualidade do processo de secagem, buscando identificar fatores de influência para o surgimento desse tipo de singularidade no material.

## METODOLOGIA:

Para o desenvolvimento desse projeto foram analisadas imagens provenientes de 630 corpos de prova, obtidos de vigas de *Eucalyptus nitens* previamente ensaiadas mecanicamente (flexão e tração paralela à fibra) no laboratório da PEMADE. O material utilizado foi proveniente de 5 regiões distintas – Tabela 1. Antes da obtenção das vigas, o grupo de pesquisa espanhol realizou diferentes tipos de medições (dendrométricas, acústicas e de densidade) nas árvores em pé.

Procedência	Nº de Corpos de Prova
(B)	145
(C)	78
(F)	172
(G)	96
(H)	139
<b>Total</b>	<b>630</b>

Tabela 1 – Número de corpos de prova analisados em cada lote.

Através de *software* de processamento de imagens (*ImageJ*) foram quantificadas as áreas de fendas internas originadas pelo processo de secagem das vigas de *Eucalyptus nitens* (Figura 1). Cada corpo de prova estava identificado com um código que permitia saber sua origem (região de procedência, árvore, toras e viga) e, conseqüentemente, as características das árvores obtidas em ensaios de campo e as propriedades mecânicas obtidas pelos ensaios em laboratório.



Figura 1. Exemplo de corpo de prova, com a identificação da região (R), árvore (A), tora (T) e viga.

Para a imagem de cada corpo de prova, a princípio se determinou uma escala de trabalho, através de uma distância conhecida e uma unidade de medida que se desejava utilizar. Posteriormente a imagem foi separada em bandas de cores RGB (Vermelho, Verde e Azul), possibilitando a seleção das áreas de interesse, que correspondem às fendas em cada corpo de prova – Figura 2.

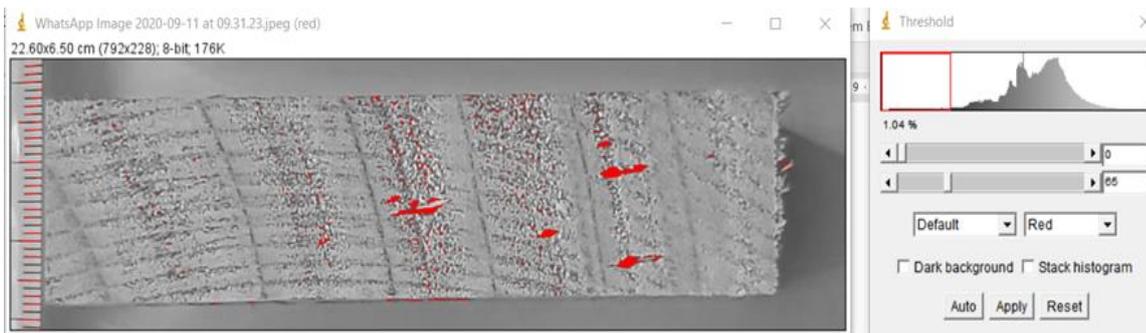


Figura 2. Definição dos limites de interesse para a geração da imagem binária.

Com a seleção das áreas correspondentes às fendas, foi possível quantificar o total da área afetadas em cada corpo de prova (Figura 3).

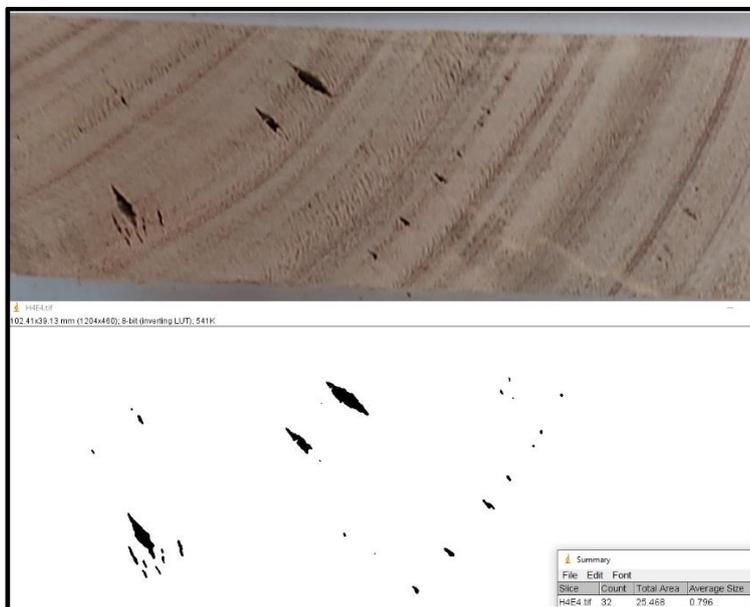


Figura 3. Áreas calculadas a partir de imagem binária.

Além do cálculo das áreas afetadas, foi identificado o tipo de corte de cada viga (radial, tangencial ou misto) e efetuado o cálculo da distância entre os anéis de crescimento, para posterior avaliação da existência de influência desses parâmetros no surgimento das fendas.

A identificação da origem dos corpos de prova permitiu o cálculo da média, por árvore, das áreas afetadas pelas fendas internas. Através de *software* de análise estatística foi possível analisar a influência de diferentes características das árvores (diâmetro da base, diâmetro a altura do peito, altura, altura de início de copa, diâmetro de copa, densidade, velocidade de propagação de ondas sônicas) no surgimento das fendas internas, assim como as consequências desse surgimento nas propriedades mecânicas (resistência e módulo de elasticidade) das vigas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A Tabela 2 apresenta um modelo preliminar de regressão múltipla que se obteve para correlacionar os dados de 17 árvores provenientes das regiões 1 e 2. O modelo estatisticamente significativo (P-Valor < 0,05) permite prever a porcentagem média, por árvore, da área dos corpos de prova afetada por fendas internas (%A<sub>fendas</sub>) utilizando os parâmetros de conicidade do tronco (C), diâmetro da copa (D<sub>Copa</sub>), densidade da árvore ( $\rho_{\text{Verde}}$ ) e a velocidade de propagação de ondas acústicas na árvore (V<sub>Árvore</sub>). O modelo calculado apresenta um coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) no valor de 53,62%.

---

<b>R<sup>2</sup></b>	53,62%
<b>Erro</b>	0,01
<b>P-Valor</b>	0,04
<b>Equação</b>	% A <sub>Fendas</sub> = -30,5278 - 35,0279*C + 0,437993*D <sub>Copa</sub> + 0,0383973* $\rho_{\text{Verde}}$ - 0,00366187*V <sub>Árvore</sub>

---

Tabela 2. Parâmetros estatísticos - coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), erro, P-Valor e equação – obtidos na regressão múltipla entre a porcentagem média, por árvore, da área dos corpos de prova afetada por fendas internas e os parâmetros (geométricos, físicos e acústicos) obtidos nas árvores.

A Figura 4 apresenta um gráfico dos valores médios observados, por árvore, da porcentagem de área afetada pelas fendas internas versus os valores dessas áreas obtidos através da equação proposta (Tabela 2). Os resultados indicam possível relação dos parâmetros mensurados em árvores com a quantidade de fendas internas que surgem durante o processo de secagem da madeira de *Eucalyptus nitens*.

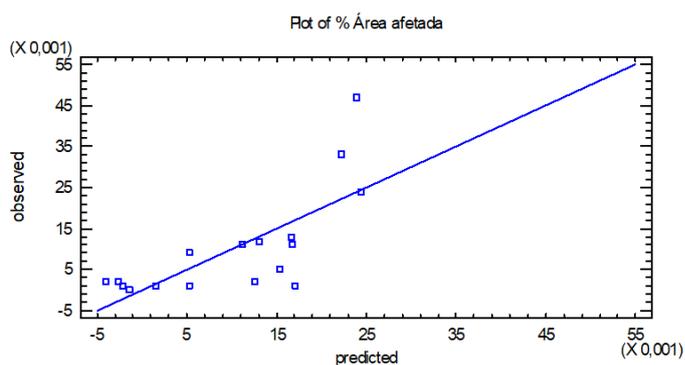


Figura 4. Áreas calculadas a partir de imagem binária.

Além da análise das prováveis causas pelo surgimento das fendas internas na madeira, foi avaliado se essas fendas podem resultar em uma diminuição nas propriedades físicas (densidade) e mecânica (módulo de elasticidade – MOE – e resistência a tração e a flexão) das peças estruturais.

A Tabela 3 apresenta a matriz de correlação entre a porcentagem de área afetada por fendas internas e as propriedades físicas e mecânicas de vigas, provenientes dos lotes 1 e 2, ensaiadas a flexão estática. Os valores da matriz de correlação representam o coeficiente de correlação (R) – em preto - e os P-Valores – em vermelho - obtidos em correlações simples entre os parâmetros. P-Valor > 0,05 indica que os parâmetros não possuem correlação estatisticamente significativa.

	MOE	Resistência	$\rho_{12\%}$
% Área	-0,18	-0,14	-0,37
	0,42	0,54	0,09

Tabela 3. Matriz de correlação entre a porcentagem área dos corpos de prova afetada por fendas internas e as propriedades físicas (densidade) e mecânicas (módulo de elasticidade – MOE – e resistência a flexão) da madeira de *E. nitens*.

Os resultados obtidos (Tabela 3) indicam que a quantidade de fendas internas presentes nos corpos de prova não afeta nas propriedades de interesse que foram estudadas (densidade, módulo de elasticidade e resistência a flexão) para cada viga.

## CONCLUSÕES

Os resultados preliminares obtidos nesse projeto de iniciação científica sugerem que o surgimento de fendas internas durante o processo de secagem da madeira de *Eucalyptus nitens* é influenciado por características das árvores de origem. Por outro lado, as análises indicam que a quantidade de fendas internas não afeta as características físico-mecânicas da madeira, de interesse estrutural.

## BIBLIOGRAFIA

FSC (Forest Stewardship Council) Espanha. **En Madera, otra forma de construir. El material constructivo sostenible del siglo XXI**. Madrid. 248 pp, 2018.