

Análise de procedimentos para secagem de resíduos de poda urbana, visando melhorar produtividade na fabricação de cavaco a partir do controle dos níveis de umidade

Adelino Carlos Maccarini (UTFPR – Pato Branco) maccarini@utfpr.edu.br

Marcelo Risso Errera (UFPR – Curitiba) merrera@gmail.com

Marcelo Rodrigues Bessa (UFPR – Curitiba) marcelo.r.bessa@gmail.com

Dimas Agostinho da Silva (UFPR – Curitiba) dimass@ufpr.br

Resumo

A madeira é um material higroscópico e mantém relações dinâmicas com a umidade do ambiente. Sua umidade interna interfere no poder calorífico e também nas condições de resistência mecânica, principalmente quanto às tensões de cisalhamento paralelas e perpendiculares às fibras, módulo de elasticidade, módulo de ruptura, propriedades de compressão paralela e perpendicular às fibras.

Neste trabalho, foram realizados testes com amostras de galhos da espécie de *Ligustrum lucidum*, provenientes da poda de árvores urbanas, para determinar a diferença de tempo de corte entre galhos verdes e secos. As amostras foram disponibilizadas em leiras e deixadas ao tempo para secagem natural, com monitoramento constante de suas taxas de secagem, atingindo no final do período, 13,8% de umidade. Após, galhos destas amostras secas e de amostras verdes, com iguais diâmetros, foram cortados com eletrosserra em sua seção transversal, controlando o tempo de corte.

Os resultados indicaram que o tempo de corte foi mais longo para as amostras secas do que para as verdes, indicando que a resistência mecânica também é proporcional ao tempo. Esta característica influencia na produtividade dos processos de beneficiamento, principalmente na fabricação de cavaco e também na vida útil e manutenção das máquinas e ferramentas de corte.

A partir do momento em que foi determinada qual é a umidade mais indicada para o corte, se apontou a maneira mais adequada de disponibilização da biomassa para secagem.

Palavras chave: biomassa, madeira, resistência mecânica da madeira, poda urbana, tempo de trituração

Analysis of procedures for drying urban pruning residues, to improve productivity in the fabrication of wood chips due to control of humidity levels

Abstract

Wood is a hygroscopic material and maintains a dynamic relation to the humidity of its environment. Depending on its moisture and the relative humidity of the air, it may dispense or absorb water from its surroundings.

The humidity retained in the timber affects its mechanical strength, especially the parallel and perpendicular shear stress of the fibers, elastic modulus, modulus of rupture and compressive strength parallel and perpendicular to the fibers. This mechanical strength influences the wood cutting time and maintenance frequency of machines and cutting tools.

On the other hand, the moisture in the wood also interferes with the calorific value of the biomass and therefore is undesirable in this case.

For this study, the drying rates of samples of branches of *Ligustrum lucidum* trees, which were arranged in piles and left to dry naturally, were monitored. Other samples of the same species, some with a 13.8 percent moisture and other still green, were cut with a power saw along the cross section with a cut-off time control to determine the differences in the cut time of the samples and thus choose the most adequate way to provide biomass to optimize the productivity of wood processing.

Key-words: Biomass, wood, mechanical strength of wood, urban pruning, milling time.

1. Introdução

O processo de trituração de galhos de árvores, que os transforma em cavacos, influencia positivamente no seu manuseio e combustão. Para realizar este procedimento, é necessário a utilização de um triturador onde, conforme Moreschi (2014) o desgaste das ferramentas de corte e a energia utilizada para esta operação é diretamente proporcional à resistência mecânica da madeira e está intrinsicamente ligado às suas taxas de umidade.

De modo geral, a importância da secagem da biomassa resume-se a alguns pontos, citados por Jäppinen, Korpinene e Ranta (2012), como:

- a) promove a redução da massa, reduzindo os custos de transporte e mão-de-obra com o seu manuseio;
- b) a menor umidade da biomassa reflete em aumento do poder calorífico para utilização em fornalhas, com redução do tempo de combustão e de perdas de rendimento gravimétrico, consequentemente, quantidades menores de lenha a ser consumida;
- c) o teor de umidade interfere na energia consumida pelas máquinas para realizar a laboração como o corte e processamento da madeira.

A determinação das propriedades mecânicas da madeira tem importância na escolha de espécies de árvores que resistam a certas condições a que estarão submetidas, como por exemplo, a esforços de tração, flexão, corte, colagem, entre outros.

Dentre as principais propriedades mecânicas, cujos ensaios seguem a Norma da ABNT MB26/53 (NBR 6230/85), de acordo com Moraes *et al.* (2009) estão:

- i. flexão estática (módulo de elasticidade);
- ii. flexão estática (módulo de ruptura);
- iii. cisalhamento paralelo às fibras;
- iv. cisalhamento perpendicular às fibras;
- v. compressão paralela às fibras;
- vi. compressão perpendicular às fibras.

Moraes *et al.* (2009) e Calil *et al.* (2014), estudaram algumas espécies de pinus, eucalipto e outras madeiras e chegaram aos seguintes resultados, conforme as Tabelas 1 e 2:

Resistência ao cisalhamento (Mpa)		
Espécie	Umidade	
	Saturada	12%
Eucalipto	4,55	6,45
Pinus	3,8	6,15;
Teca	2,3	3,7

Fonte: Calil *et al.* (2014)

Tabela 1 - Resistência ao cisalhamento de madeiras (Mpa)

Propriedades mecânicas da madeira (Mpa)									
Flexão estática (módulo de elasticidade)		Flexão estática (módulo de ruptura)		Cisalhamento paralelo às fibras		Compressão paralela às fibras		Compressão perpendicular às fibras	
Seca	Saturada	Seca	Saturada	Seca	Saturada	Seca	Saturada	Seca	Saturada
7558	6861	68	45	9,5	4,9	32	16,5	5,5	2,9

Fonte: Adaptado de Moraes *et al.* (2009)

Obs.: A madeira considerada seca estava com 12 % de umidade

Tabela 2 - Propriedades mecânicas da madeira de *Pinus caribaea* de 23 anos de idade, em Mpa

A umidade que mais interessa para o presente estudo é a da água livre ou de capilaridade, que, de acordo com Fowler *et al.* (2009), é a que ocupa as cavidades das células e espaços intercelulares, incluindo também vasos e canais resiníferos, retida por fracas ligações capilares. O movimento que ali ocorre é o da umidade acima do ponto de saturação das fibras, PSF, sob a ação de forças capilares, baseado na lei de Hagen-Poiseuille, onde, conforme Dercan *et al.* (2012), move-se no estado líquido através das cavidades celulares presentes na madeira do interior para a superfície.

De acordo com Aguilar, Song e Shifley (2011), existem três tipos de água na madeira: a água livre ou de capilaridade, a água de adesão ou de impregnação e a água de constituição. A maior parte da água livre, de acordo com Chen *et al.* (2012), é perdida por evaporação após o abatimento da árvore. Em seguida, mais lentamente, a água de adesão é eliminada até que a madeira atinja o equilíbrio entre a sua umidade e as condições externas de umidade relativa do ar, temperatura e convecção do ar. Este ponto, em que a madeira não perde nem retém água do ambiente, é denominado umidade de equilíbrio da madeira.

Segundo Santos, Jankowsky e Andrade (2003), o deslocamento da umidade ocorre geralmente de zonas de alta concentração de água para as de baixa concentração, tanto no sentido longitudinal, quanto transversal das fibras, sempre buscando o menor caminho para sair. Como a umidade externa geralmente é menor que a interna, gerando gradientes de umidade, isto proporciona que se desloque da parte interior do lenho para a parte exterior, criando uma atração capilar da água livre nas cavidades celulares. É o processo de secagem propriamente dito, que é o balanço dinâmico entre a transferência de calor do ar para a superfície da madeira e a transferência de umidade da superfície da madeira para a corrente de ar.

Para Rosillo-Calle, Bajay e Rothman (2008), a secagem da biomassa é afetada por fatores internos, como espécie da planta, componentes anatômicos da madeira, proporção de cerne e alburno, densidade, permeabilidade, umidade inicial, tamanho de peças ou cavacos. Quanto aos fatores externos, são relacionados ao ambiente de secagem, como temperatura ambiente, umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos predominantes, velocidade de circulação do ar, precipitações, incidência solar, localização do pátio de secagem, superfície exposta, modo de empilhamento da madeira, distância entre o solo e a madeira, inclinação do terreno, presença de vegetação ou barreiras e drenagem do local. Segundo Mellado, (2007) a movimentação interna da umidade longitudinal é de 10 a 15 vezes mais rápida do que a transversal.

Klitzke (2007) afirma que, de acordo com a temperatura, a secagem pode ser realizada das seguintes formas: secagem natural ou ar livre que ocorre à temperatura ambiente; secagem a baixas temperaturas em câmaras com variação de temperatura entre 30° a 50°C; secagem convencional, que ocorre na faixa de 50° a 100°C e; secagem a altas temperaturas, que ocorre de 100° a 180°C.

2. Métodos

Neste trabalho, foram realizados testes ao corte com amostras de galhos da espécie de *Ligustrum lucidum*, provenientes da poda de árvores urbanas, para determinar a resistência e a diferença de tempo ao corte entre galhos verdes e secos. As amostras foram disponibilizadas em leiras e deixadas ao tempo para secagem natural, com monitoramento constante de suas taxas de secagem, atingindo no final do período, 13,8% de umidade onde se apontou a maneira mais adequada de disponibilização da biomassa para secagem.

Em seguida, para determinar qual é a diferença de tempos de corte entre galhos de amostras secas e de amostras verdes, com 70 milímetros de diâmetro cada, foram cortados com eletrosserra em sua seção transversal, sendo que seus tempos de corte foram cronometrados.

2.1. Determinação da perda de umidade de fardos de biomassa

A determinação da perda de umidade da biomassa foi importante para definir os procedimentos de secagem e determinação dos tempos de exposição às condições ambientais para que atingisse níveis de umidade compatíveis ao corte.

Amostras de galhos de *Ligustrum lucidum* logo após a poda, foram enfardadas e disponibilizadas em um pátio aberto, conforme a Figura 1 e monitorada sua secagem por 125 dias, desde o dia 3 de junho até o dia 6 de outubro, entre o final de outono e início de primavera. As temperaturas variaram entre 18 e 27°C e a umidade relativa do ar entre 44 a 95%, sendo que em 92% do período estudado, as temperaturas variaram entre 21 a 24°C e, 60,3% da umidade relativa do ar no mesmo período ocorreram na faixa dos 75 a 95%.

Dividiu-se as amostras em cinco fardos amontoados em leira, totalizando 107,8 quilogramas, 1,2 metros de altura, 1,8 metros de largura por 2,6 metros de comprimento.

Para obter as taxas de secagem ao longo do tempo, inicialmente as pesagens foram diárias e, logo que tendeu à estabilização, se tornou semanal até o 125º. dia. Os dados foram inseridos em planilhas e em gráficos para facilitar a visualização do decréscimo do peso ao longo do tempo.



Fonte: os autores (2015)

Figura 1 - Local de secagem e pesagem de galhos de *Ligustrum lucidum*

Para o presente trabalho foi dado ênfase maior aos métodos de secagem natural ou ao ar livre à baixa temperatura, em que consiste em deixar a biomassa em ambiente exposto à ação dos fatores climáticos no local. Segundo Kasmoui e Ceulemans, (2013), é um método que exige investimento relativamente baixo, mas longo tempo de secagem em comparação ao método de secagem forçada. Os resultados levaram às curvas características que podem ser utilizadas na avaliação da umidade residual e nos cálculos de poder calorífico, na logística de manuseio e transporte da biomassa.

Para a retirada da umidade residual e para determinar o teor de umidade em base seca, amostras de galhos, após o corte e pesagem, foram inseridas na estufa a $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, até atingir peso constante, como determinado pela NBR 7190/97. Em seguida, resfriadas em dessecadores e submetidas a uma nova pesagem, onde o teor de umidade correspondeu à relação entre a massa da água nela contida e a massa da biomassa seca.

A umidade média das amostras foi determinada a partir das equações a seguir:

$$\bar{W}_s = (M_u - M_s) / M_s \quad (3.1)$$

$$\bar{W}_u = (M_u - M_s) / M_u \quad (3.2)$$

Onde:

M_u - massa da amostra úmida;

M_s - massa da amostra seca;

$\bar{W}_u$ - umidade média em base úmida;

$\bar{W}_s$ - umidade média em base seca.

As balanças eletrônicas digitais utilizadas para a pesagem das amostras foram, uma com precisão de 0,1 g e faixa de medição de até 1250 g e outra, com precisão de cinco gramas e faixa de medição de até 45 kg, com gancho.

2.2. Determinação do tempo de corte da madeira

Para quantificar as diferenças de tempo entre o corte de galhos verdes, recém podados e galhos secos com umidade de 13,8% de *Ligustrum lucidum* (ligustro), amostras com 70 milímetros de diâmetro, foram condicionadas ao corte transversal em eletrosserra com potência de 1800W, corrente de aço rápido com velocidade de 14m/s, rotação do motor de 7600 rpm.

Na eletrosserra, para manter a mesma força durante o corte, foi adaptado um torquímetro de estalo com capacidade de 10 a 50 Nxm (Newton metro), resolução de 0,1 Nxm, precisão de $\pm 3\%$, com indicador sonoro para quando o torque fosse atingido.

Assim que a eletrosserra atingiu a rotação nominal, iniciou-se a operação de corte das amostras com o cronometragem do tempo. O torque foi mantido a 19 Nm para todos os experimentos.

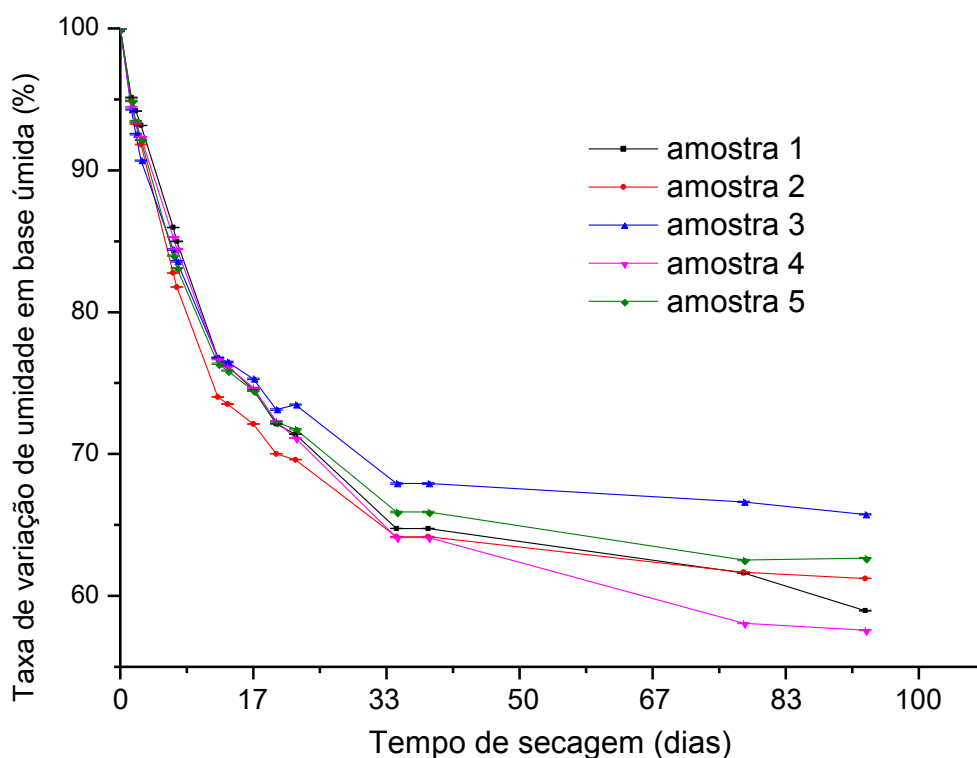
3. Resultados

Nos resultados, primeiramente estão apresentadas as taxas de secagem da biomassa e, em seguida, as diferenças entre os tempos de corte entre as amostras secas e as verdes.

3.1. Secagem da biomassa

O perfil da taxa de decréscimo da umidade nas amostras enfardadas do *Ligustrum lucidum* submetidas à secagem natural no pátio, sujeito às intempéries, está inserido na Figura 2 e Tabela 3. Nos 13 primeiros dias se obteve a maior taxa de secagem em relação à massa úmida, com

27,8%. Até o 34º. dia, a perda de umidade foi de 38,4%. Conforme a mesma Figura, a partir desta data, as amostras perderam quantidades não significativas de umidade chegando à 43,8% até o 59º. dia, onde a secagem praticamente se estabilizou. Até o 125º. dia, chegou a perder 50,1% de umidade em relação à base úmida.



Fonte: Os autores (2015)

Figura 2 - Taxa de variação da umidade de galhos com folhas de *Ligustrum lucidum* (ligustro) armazenadas no laboratório

Ligustro	Galhos com casca e folhas depositados no pátio da Universidade	Folhas
Perda média de umidade (base úmida)	27,8 % (até o 13º dia) 38,4 % (até o 34º dia) 43,8 % (até o 59º dia) 50,1 % (até o 125º dia)	57,1 % (até o 25º dia)
Período médio de maior decréscimo de umidade	13 dias	
Período médio de estabilização	59 dias	25 dias

Fonte: Os autores (2015)

Tabela 3 - Taxa de decréscimo de umidade em relação à base seca das amostras de *Ligustrum lucidum*

Em relação à base seca, todos os cinco fardos de amostras tiveram curvas semelhantes, isto é, não tiveram diferenças significativas de secagem entre elas.

As amostras de galhos sem casca secaram em média de 28% mais rápido que os galhos com casca;

As amostras de galhos com diâmetros entre 12 a 60 milímetros, secaram de 32 a 54% mais lentamente que as de diâmetros menores que 12 milímetros, mostrando que, para a secagem, existe influência dos diâmetros das amostras;

Todas as amostras diminuíram a umidade em menos de 50% em relação à base seca, até as três primeiras semanas.

3.2. Corte das amostras de biomassa

A Tabela 4 apresenta os resultados do experimento de corte dos galhos com a eletrosserra com torque de 19 Nxm, comparando os tempos de corte entre galhos verdes e galhos secos (com 13,8% de umidade), onde se pode observar, que as diferenças entre os tempos são significativas. Nas amostras de galhos secos foi de 1,565 vezes maior que o tempo de corte de galhos verdes, corroborando com informações das Tabelas 1 e 2, sobre as propriedades mecânicas da madeira, como tensões de cisalhamento, resistência à flexão estática e compressão, estudadas por Moraes (2009) e Calil *et al.* (2014). Esses experimentos demonstraram que existe também diferenças significativas dessas propriedades entre a madeira seca e a madeira úmida, saturada em água.

Características das amostras	Tempo (s)				
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Média
Galhos verdes	4,5	4,7	4,6	4,6	4,6
Galhos com 13,8% de umidade	7,2	7,1	7,3	7,2	7,2
Diferença percentual entre os tempos de corte	60,0%	51,1%	58,7%	56,5%	56,5%

Fonte: Os autores (2016)

Tabela 4 - Diferenças no tempo de corte entre amostras de *ligustrum lucidum* seca e verde

4. Conclusões

A partir dos resultados apresentados nas curvas características, percebeu-se que a taxa de secagem é significativa nos cinco primeiros dias. A partir dali, sugere-se alguns procedimentos de disposição da biomassa e condições para secagem, fragmentação e transporte, como segue:

- a) como meio de reduzir os custos de secagem, transporte e manuseio da biomassa e melhorar seu potencial calorífico, recomenda-se, antes da trituração, que ela seja deixada ao tempo no próprio local do corte ou nas proximidades por um período de até 13 dias, tempo em que a secagem se mostrou significativa principalmente para as folhas e galhos com diâmetros menores, remanescendo ainda umidade significativa nos galhos mais grossos sem que se dificulte em demasia sua trituração, pois, quanto mais secos, maior a dureza e dificuldade ao cisalhamento, aumentando desta forma o tempo de processos (corte) e o desgaste das ferramentas (os galhos finos, com até 5 cm de diâmetro e folhas, foram os que mais perderam umidade em relação aos grossos. Em 28 dias deixados ao tempo, atingiram quase que sua umidade natural). Desta forma, se reduzirá em até 30% da massa e perderá até 50% da umidade remanescente da biomassa.
- b) A partir do quinto dia, para as espécies de *Ligustrum lucidum*, as folhas iniciaram o processo de decaimento dos galhos, conforme foi verificado nas amostras, algumas de forma natural e outras, durante o manuseio. Isso não é um fator positivo, pois se propõem aproveitar as folhas como combustível, devido aos resultados de calorimetria, onde em todos os ensaios demonstraram que elas têm maior poder calorífico do que no caule.
- c) após tritar a biomassa, transformando-a em cavacos e armazenando-as em leiras, recomenda-se esperar novamente por mais duas semanas antes de utilizá-la em fornalhas, para que perca quantidades significativas da umidade residual. Conforme Wylen, Borgnakke e Sonntag (2013), quanto menor for a umidade, maior será o potencial calorífico da biomassa;

- d) ao se armazenar os cavacos em leiras, não é recomendável que tenha dimensões muito elevadas ou compactadas, pois dificultará o processo de secagem residual; é também recomendável utilizar cobertura para evitar a absorção de água da chuva. Se porventura não for possível cobri-la, deixar depositada até no máximo 120 dias e, antes de sua utilização, recomenda-se remover a camada externa de cavaco na leira, em torno de 30 cm, tendo em vista que, devido aos resultados dos testes e ensaios obtidos, foi a camada que teve maior teor de umidade. Abaixo desta profundidade, caiu significativamente;
- e) A partir dos testes para verificar as diferenças de tempo no corte entre galhos verdes e galhos secos de *Ligustrum lucidum*, relatos de empresários que trabalham na área, confirmaram que há maior tempo de corte, maior consumo de energia e maior desgaste das ferramentas quando a madeira está seca. Para o presente estudo, essa diferença de tempo foi de 1,57 vezes, que pode ocorrer proporções na mesma ordem de grandeza em relação ao consumo de energia. Isso indica que a produtividade na trituração da biomassa poderá aumentar em até 1,57 vezes;
- f) Em outras palavras, o processo de corte da madeira verde consome 63,9% do tempo em relação à madeira seca. Aplicando estes índices em nível industrial, conforme estudos de Hillig *et al.* (2006), onde envolveram 30 indústrias madeireiras no estado do Rio Grande do Sul, com a produção de 3800 m³/mês de madeira cortada, poderiam realizar os procedimentos de corte de madeira verde em 63,9 horas, onde se fosse seca, utilizaria 100 horas. Ou então, nessas 100 horas, produziria o equivalente a 154 horas máquina para tritar a madeira verde;
- g) Em relação ao desgaste de ferramentas, sugere-se aprofundar estudos na área, pois, além da diferença no desgaste entre utilizar madeira verde e seca, tem que levar em consideração a parada de máquina para realizar a manutenção.

Referências

- AGUILAR, F. X.; SONG, N.; SHIFLEY, S. R. *Review of consumption trends and public policies promoting woody biomass as an energy feedstock in the U.S.* Biomass and Bioenergy, Volume 35, Vol. 8, August 2011.
- CALIL NETO, C.; CHRISTOFORO, A. L.; RIBEIRO FILHO, S. L. M.; LAHR, F. A. R.; CALIL JUNIOR, C. *Avaliação da resistência ao cisalhamento e à delaminação em madeira laminada colada.* Ciência Florestal, v. 24, n. 4, Santa Maria, 2014. Disponível em <http://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/issue/view/787>. Acesso em maio de 2015.
- CHEN, L.; LI, X.; WEN, W.; JIA, J.; LI, G.; DENG, F. *The status, predicament and countermeasures of biomass secondary energy production in China.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012.
- DERCAN, B.; LUKIC, T.; BUBALO- ZIVKOVIC, M.; DURDEV, B.; STOJSAVLJEVIC, R.; PANTELIC, M. *Possibility of efficient utilization of wood waste as a renewable energy resource in Serbia.* Renewable and Sustainable Energy, Vol. 16, Issue 3, abr. 2012.
- FOWLER, P.; KRAJAČIĆ, G.; LONČAR, D.; DUIĆ, N. *Modeling the energy potential of biomass – H2RES.* International Journal of Hydrogen Energy, 2009.
- HILLIG, E., SCHNEIDER, V. E., WEBER, C. e TECCHIO, R. D. *Resíduos de madeira da indústria madeireira – caracterização e aproveitamento.* XXVI ENEGEP - Fortaleza, CE, 9 a 11 de outubro de 2006.
- JÄPPINEN, E.; KORPINEN, O.-J.; RANTA, T. *The effects of local biomass availability and possibilities for truck and train transportation on the greenhouse gas emissions of a small-diameter energy wood supply chain.* Bio Energy Research, 2012.
- KASMIOUI, O.; CEULEMANS, R. *Financial analysis of the cultivation of short rotation woody crops for bioenergy in Belgium: Barriers and opportunities.* Bioenergy Research, Vol. 6, pg. 336-350, 2013.

KLITZKE, R.J. *Secagem da madeira*. In: NOGUEIRA M. F. M.; OLIVEIRA, J. T. S. e FIEDLER, N. C. Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora Ltda., 2007. 1Ed.V.1, 426p.

MELLADO, E.C.E.R. *Modelo de transferência de calor e massa na secagem de madeira serrada de Pinus*. 2007. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

MORAES NETO, S. P.; TELES, R. F. RODRIGUES, T. O.; VALE A. T.; SOUZA, M. R. *Propriedades mecânicas da madeira de cinco procedências de Pinus caribaea var. hondurensis implantadas no cerrado do Distrito Federal, DF*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Cerrados. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Planaltina, 2009.

MORESCHI, J. C. *Propriedades da madeira*. Setor de Ciências Agrárias do Centro de Ciências Florestais e da Madeira - Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal - UFPR, Curitiba: setembro de 2014.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO, M. *Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto*. Rev. Árvore v. 29 n. 1 Viçosa jan/fev 2005.

ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. *Industrial uses of biomass energy: the example of Brazil*. Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira. Trad. Rocha, J. D. e Rocha, M. P. D. Editora Unicamp: Campinas, 2008.

SANTOS, G. R. V., JANKOWSKY, I. P. e ANDRADE, A. *Curva característica de secagem para madeira de Eucalyptus grandis* Characteristic drying curve for Eucalyptus grandis lumber. Scientia Forestalis n. 63, p. 214-220, jun. 2003.

WYLEN, G. J. V.; SONNTAG, R. E.; BORGNAKKE, C. *Fundamentos da termodinâmica clássica*, 8.ed. Série Van Wylen. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2013.