

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL
CÂMPUS DOIS VIZINHOS

JULYANDRO A. PARTECA

**SECAGEM DE TORAS DE *Pinus taeda* PARA PRODUÇÃO DE
ENERGIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS

2014

JULYANDRO A. PARTECA

**SECAGEM DE TORAS DE *Pinus taeda* PARA PRODUÇÃO DE
ENERGIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à disciplina de Trabalho De Conclusão De Curso II, do curso superior de Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal Do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro florestal.

Orientador: Prof. Dr. Flávia Alves Pereira

DOIS VIZINHOS

2014

P273s

Parteca, Julyandro Alexandre.

Secagem de toras de *Pinus taeda* para produção de energia – Dois Vizinhos: [s.n], 2014.

37 f.

Orientadora: Flávia Alves Pereira.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de
Engenharia Florestal. Dois Vizinhos, 2014.

Inclui bibliografia

1. Biomassa florestal 2. Resíduo florestal 3. Energia renovável 4. Poder calorífico útil 5. Análise química imediata
I. Pereira, Flávia Alves, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Dois Vizinhos. III. Título

CDD: 634.9



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Dois Vizinhos
Curso de Engenharia Florestal



TERMO DE APROVAÇÃO

SECAGEM DE TORAS DE *Pinus taeda* PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA

por

JULYANDRO A. PARTECA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 25 de fevereiro de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Florestal. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Flavia Alves Pereira
Orientador

Prof. Dr. Marcos Aurélio Mathias de Sousa
Membro titular UTFPR

MSc. Felipe R. Alcides
Membro titular UTFPR

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis” (José de Alencar).

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou meu caminho durante essa caminhada.

Aos meus pais Lauro e Roseli, meu irmão Tiago, minha namorada Sthelen que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

A minha professora orientadora Dra Flavia Alves Pereira pela paciência, orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão desta monografia.

Aos professores Dr Marcos Aurélio Mathias de Sousa. e Ms Felipe R. Alcides , pelo apoio, colaboração e todo conhecimento repassado.

Ao professor Prof. Dimas Agostinho da Silva pela atenção e apoio.

A empresa Araupel S/A em especial ao Supervisor comercial Rodrigo Costa pela parceria e colaboração de ceder o espaço e o material para que fosse realizado este trabalho.

Aos meus amigos Jocemir L. Tedesco e Leandro R. Zanella por todo apoio, ajuda e parceria no decorrer do curso.

A todos que de alguma forma direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

PARTECA, Julyandro. **Secagem de toras de *Pinus taeda* para produção de energia**. 2014. 37p. Trabalho (Conclusão de Curso) – Curso de Graduação em Bacharelado em Engenharia Florestal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2014.

A preocupação com o meio ambiente aliada ao preço dos combustíveis fósseis incentivam o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à captação e potenciais fontes de energias renováveis, dentre elas a biomassa florestal. Esta é composta principalmente por resíduos dos processos de colheita, processamento da madeira e pelas florestas energéticas. O objetivo deste trabalho foi analisar um método de secagem de toras de *Pinus taeda*, a fim de se obter qual o teor de umidade tem-se o maior ganho em poder calorífico útil e conseqüentemente um melhor aproveitamento desses resíduos. Para isso, as toras foram dispostas no pátio da empresa, durante 54 dias e posteriormente transformadas em cavacos. Foram recolhidas cinco amostras dos cavacos e acículas, em dias determinados, para posterior determinação da umidade do material, poder calorífico útil e análise química imediata. Conclui-se a secagem ao ar livre das acículas e das toras de *Pinus taeda* contribui para que o teor de umidade diminuísse e não houve efeito significativo sobre as porcentagens de carbono fixo, teor de cinzas e materiais voláteis.

Palavras-chave: Biomassa Florestal, Resíduo Florestal, Energia Renovável, Poder Calorífico Útil, Análise Química Imediata.

ABSTRACT

PARTECA, Julyandro. **Drying of *Pinus taeda* logs for energy production**.2014. 37p. Work (End of Course) - Curso de Graduação em Bacharelado em Engenharia Florestal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2014.

The concern with the combined price of fossil fuels environment encourages the development of research related to harvesting and potential renewable energy sources, among them the forest biomass. This consists mainly of waste from processes of harvesting, wood processing and the energy forests. The aim of this study was to examine a method of drying logs of *Pinus taeda* in order to obtain the moisture content which has become the largest gain in good calorific value and therefore a better use of the waste. For this, the logs were placed in the courtyard of the company for 54 days and subsequently processed into chips. Five samples of chips and needles were collected on certain days, for later determination of moisture from the material, power and useful heat chemical analysis. We conclude the outdoor drying of needles and logs of *Pinus taeda* contributes to the moisture content decreased and there was no significant effect on the percentages of fixed carbon, ash and volatiles.

Key words: Forest Biomass, Forestry Waste, Renewable Energy, Useful Calorific Power, Immediate Chemical Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Teor de Umidade da madeira (base seca) e acículas de <i>Pinus taeda</i> em função dos dias de secagem.....	25
Figura 2 – Poder Calorífico Útil da madeira e das acículas de <i>Pinus taeda</i> em função dos dias de secagem.....	27
Figura 3 – Teor de Umidade da madeira (base seca) e acículas de <i>Pinus taeda</i> em função do poder calorífico útil.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Temperatura e Umidade Relativa do Ar no momento da coleta de cada amostra de cavacos em Quedas do Iguaçu-Paraná.....	20
Tabela 2 - Valores médios do Teor de Materiais Voláteis, Teor de Cinzas e Teor de Materiais Voláteis.....	28

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	11
2.1. OBJETIVO GERAL	11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1. PINUS	12
3.2. SECAGEM DA MADEIRA	13
3.2.1. Teor de Umidade	14
3.3. PODER CALORÍFICO.....	14
3.4. CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA INTERESSANTES PRA ENERGIA ..	15
3.4.1. Densidade	15
3.4.2. Composição Química	16
3.4.3. Materiais Voláteis	17
3.4.4. Teor de Cinzas	17
3.4.5. Teor de Carbono Fixo.....	18
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1. SECAGEM DOS CAVACOS	19
4.2. TEOR DE UMIDADE	20
4.3. ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA.....	21
4.3.1. Teor de Materiais Voláteis	21
4.3.2. Teor de Cinzas	22
4.3.3. Teor de Carbono Fixo.....	22
4.4. PODER CALORÍFICO.....	23
4.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
6. CONCLUSÃO.....	30
RECOMENDAÇÕES.....	31
REFERÊNCIAS.....	32

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente aliada ao preço dos combustíveis fósseis incentivam o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à captação de potenciais fontes de energia como a solar, eólica, geotérmica e biomassa vegetal. Dentre os materiais que compõem a biomassa vegetal estão os florestais, compostos principalmente por resíduos dos processos de colheita, processamento da madeira e pelas florestas energéticas.

O uso de energia da biomassa é hoje uma realidade, tanto para o Brasil quanto para outros países, e configura-se como uma alternativa factível em substituição aos derivados de petróleo, em determinados usos. Grandes extensões territoriais e boa aptidão quanto à silvicultura, reforçam o potencial brasileiro para a produção de energia (VALE et al., 2007).

A utilização dos resíduos florestais oriundos do desdobro das madeiras é considerada um desafio, pois a maioria das empresas brasileiras ainda está despreparada para um descarte apropriado. Entretanto, há neste mercado, uma oportunidade promissora (SATER et al., 2011). Neste setor, grandes volumes de resíduos são gerados durante as etapas de beneficiamento, como cascas, costaneiras, aparas, serragem, e podem ser empregados para queima direta, compostagem, produção de combustível sólido ou briquetagem (QUIRINO, 2003). Contudo, propriedades tanto físicas quanto químicas destes materiais têm influência direta no seu aproveitamento e desempenho. O teor de umidade, a densidade, a porcentagem de resina, a constituição química são características da madeira que podem interferir na quantidade de energia desprendida e variam entre as espécies.

O teor de umidade presente nos resíduos florestais possui relação inversamente proporcional ao valor calórico desprendido, uma vez que há perdas significativas do potencial energético durante a etapa da secagem do combustível.

Neste contexto, é necessário o desenvolvimento de pesquisas que conduzam à maximização do potencial energético e revelem a importância da secagem destes resíduos na geração de energia.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a secagem de toras de *Pinus taeda* para produção de energia.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar o poder calorífico superior dos cavacos de *Pinus taeda* com casca e acículas.
- Determinar o poder calorífico útil dos cavacos de *Pinus taeda* com casca e acículas.
- Realizar análise química imediata dos materiais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. PINUS

Dentre as várias espécies exóticas implantadas do Brasil, destacam-se as pertencentes à família Pinaceae. São originárias basicamente do Hemisfério Norte, compreendendo cerca de 10 gêneros e 200 espécies (ÁRBOLES ORNAMENTALES, 2013). Dentre estes, destaca-se o gênero *Pinus*, com ocorrência natural em vários locais do Hemisfério Norte compreendendo mais de 100 espécies, sendo um dos mais numerosos entre as gimnospermas (AGUIAR et al., 2011; WYLLIARD et al., 2007; JUDD et al., 2008).

O *Pinus taeda*, importante espécie comercial, tem ocorrência desde Delaware, no nordeste, até no estado do Texas, no oeste e, ao sul, até a região central da Flórida (AGUIAR et al., 2011). Apresenta boa capacidade de adaptação rapidez de crescimento, baixa exigência nutricional, rusticidade e tolerância, crescendo com frequência em solos extremamente pobres (REISSMANN & WISNIEWSKY, 2001).

No Brasil, esta espécie apresenta bom desenvolvimento em regiões de clima fresco e inverno frio, sob condição constante de umidade durante o ano, sendo esta encontrada em todo o planalto das regiões sul e sudeste (AGUIAR et al., 2011).

Também é conhecido como pinheiro-americano ou pinheiro-amarelo e pode atingir mais de 20 metros de altura. Sua madeira possui coloração branco-amarelada e fibra longa. A polinização ocorre por anemofila e sementes com aproximadamente 5 mm de comprimento, com alas de até 25 mm. (LORENZI et al., 2003; BOGNOLA et al., 2008). Apresenta acículas de cor verde-escura, com 15 a 20 cm de comprimento e seus cones femininos ovado-oblongos, sésseis ou subsésseis, muito persistentes e dotados de escamas espinhosas (LORENZI et al., 2003).

A introdução dessa espécie no Brasil iniciou a partir do final da década de 1940 e mostrou boa adaptação às condições ambientais do sul do País considerada excelente (SHIMIZU, 2006). Essa cultura foi implantada visando atender as necessidades do mercado de fibras longas para o abastecimento das indústrias de papel e celulose na região sul do Brasil (BARRICHELO et al., 1978; FONSECA et al., 1978). A partir deste desenvolvimento buscou-se a seleção de árvores

geneticamente superiores, através de programas de melhoramento genético (FONSECA et al., 1978). Com estas técnicas conseguiu-se além do aumento de produtividade em madeira, o aumento em qualidade de fuste (SHIMIZU, 2006).

A madeira de *Pinus taeda* pode ser utilizada nas indústrias laminadoras, de madeira beneficiada, de MDF, papel e celulose, onde seu resíduo também pode ser encaminhado para a geração de vapor e energia, colocando a espécie em um cenário de destaque econômico florestal nacional (VASQUES et al., 2007; BOGNOLA et al., 2008).

Na atualidade, a cadeia produtiva de madeira é muito importante para a economia do Brasil, com participação de aproximadamente 3,5% do PIB, com faturamento total da área florestal equivalente a 3,4% de toda a exportação brasileira, sendo de fundamental importância o gênero *Pinus* (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2012).

3.2. SECAGEM DA MADEIRA

A madeira deve ser seca de forma que a umidade que irá ficar em seu interior não influencie no poder calorífico (variando de 65% a 70% em base úmida). Com a presença da umidade, ocorre a perda de calor através do processo de combustão na forma de vapor de água, devido a umidade da madeira evaporar e consumir energia em combustão. Para que a madeira consiga entrar em combustão, o máximo de umidade que poderá estar no interior da mesma é de 65% em base úmida. Se o percentual de umidade for maior, deverá necessitar de calorias providas de origem externa para secar e entrar em combustão (QUIRINO et al., 2004).

Quanto maior o conteúdo de umidade da madeira, menor será seu poder de combustão, devido à absorção de energia para evaporá-la (CUNHA et al., 1989).

A secagem inicia-se com a retirada da água livre ou capilar do lúmens celulares e espaços intercelulares, até o ponto de saturação das fibras (25 e 35% de umidade). Posteriormente, há eliminação da água higroscópica, ou seja, aquela localizada nos espaços submicroscópicos da parede celular. A retirada dessa água ocasiona a contração e o inchamento da madeira (SANTINI, 1996).

3.2.1. Teor de Umidade

O teor de umidade é considerado o fator que exerce maior influência sobre a queima de materiais combustíveis, além de ser uma característica de fácil mensuração (SOUZA et al., 2012).

Em árvores vivas o teor de água pode variar desde 25% até valores superiores a 200%, sendo que, na maioria das espécies o teor de umidade do cerne é menor que o teor no alburno. A água pode existir na madeira como água líquida (água livre) ou vapor de água no lúmen das células e água quimicamente aderida nas paredes celulares (FONTES, 1994).

O teor de umidade da madeira pode ser definido como a quantidade de água presente na madeira expressa em percentagem com relação ao peso da madeira seca ou úmida (WOOD HANDBOOK, 1968). Sua variação é considerada de extrema importância por Oliveira et al. (2005), devido a grande ocorrência de defeitos que surgem com a presença de elevados gradientes de umidade no interior da madeira e, sendo o fendilhamento e empenamento os principais defeitos.

Farinhaque (1981) realizou pesquisas verificando a influência da umidade no poder calorífico da Bracatinga (*Mimosa scabrella*) e concluiu que há perda de calorías na queima de madeira úmida devido ao gasto no aquecimento e vaporização da água. Neste caso houve uma redução de 57% do poder calorífico quando a umidade alterou de 0% para 80%. O autor também ressalta que para um bom aproveitamento do material para a combustão, este deve ser utilizado em teores abaixo de 25%, não apenas pela redução do poder calorífico disponível mas também porque acima deste valor poderá haver formação de crostas e fuligem nas chaminés e no interior da câmara de combustão.

Tomaselli (1983) observou que uma tonelada de madeira pode gerar 2520 Kcal.kg⁻¹ de energia quando verde, 4368 Kcal.kg⁻¹ quando seca ao ar e com umidade de 10% e 4800 Kcal.kg⁻¹ quando absolutamente seca.

3.3. PODER CALORÍFICO

O poder calorífico pode ser definido como a quantidade de calor liberado durante a combustão completa de uma unidade de massa ou de volume e expressa

em Kcal/Kg, para combustíveis sólidos e líquidos, e Kcal/m³, para combustíveis gasosos (VLASSOV, 2001).

Existem duas classificações para o poder calorífico, o inferior e o superior. O poder calorífico superior (PCS) é assim chamado quando a água formada durante a combustão é condensada, ou seja, o calor necessário para evaporar a água formada durante a combustão do hidrogênio e a umidade da madeira não são considerados, enquanto poder calorífico inferior (PCI) é aquele observado quando a combustão é efetuada a pressão constante, isto é, ao ar livre. Nesse caso, a água de combustão não é condensada e é a situação que ocorre com a queima direta da madeira (QUIRINO et al., 2005).

A determinação do poder calorífico superior de materiais combustíveis é feito de modo direto e experimental, normalmente utilizando-se bombas calorimétricas dos tipos, Berthelot-Mahler, Davis, Parr e Junker e Kröler (SILVA, 2001).

O poder calorífico da madeira pode variar em torno de 3.000 kcal/kg até 5.400 kcal/kg. Quirino et al., (2004) determinou o poder calorífico de diferentes resíduos como costaneiras de *Pinus* sp., aparas de madeira, resíduos de compensados, casca de arroz e bagaço de cana e obteve valores em torno de 4.524 Kcal/Kg, com um coeficiente de variação de 9,4%.

As espécies classificadas de coníferas, apresentam maiores teores de resina, o que contribui para seu maior poder calorífico, visto as que resinas podem chegar à 9.600 Kcal/Kg (BRITO & BARRICHELO, 1979).

3.4. CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA INTERESSANTES PRA ENERGIA

3.4.1. Densidade

A densidade é um fator importante na determinação das propriedades físicas e mecânicas das mais diferentes espécies de madeiras, diferentes árvores de uma dada espécie e diferentes regiões de uma mesma árvore (FOELKEL et al., 1971). É considerada uma característica complexa, resultantes de diversos fatores, os quais podem estar relacionados com as dimensões da fibra, espessura de parede volume dos vasos e parênquimas, proporção entre madeira primaveril e outonal, e arranjo dos elementos anatômicos (FOELKEL et al., 1971).

Oliveira et al. (2005) estudando as variações de umidade e densidade dentro do lenho da madeira de diferentes espécies do gênero *Eucalyptus*, concluíram que a densidade aumenta na direção radial do tronco e cada espécie apresenta um modelo de variação diferente, o que pode ser explicado devido a grande variabilidade de densidade dentro de uma mesma madeira, o que varia mais ainda nas diferentes espécies de madeira. Estas variações encontradas em diferentes espécies de *Eucalyptus* também foram resultadas por Sturion et al., (1987), que demonstrou grande variabilidade na densidade dentro da madeira e entre espécies.

3.4.2. Composição Química

A madeira é um material orgânico, de forma que seus constituintes químicos estão diretamente relacionados com as suas propriedades, sendo um biopolímero tridimensional, composto basicamente por celulose, hemicelulose e lignina, os quais são responsáveis pela formação da parede celular e a maioria de suas propriedades (SILVA et al., 2005a).

A composição química da madeira é considerada uma ferramenta essencial para o entendimento do comportamento do material madeira e toda a sua composição (KLOCK, 2005).

Os principais elementos que compõem a estrutura de madeira são o Carbono, Hidrogênio, Oxigênio e Nitrogênio, porém estes podem variar em quantidade dependendo da espécie (KLOCK, 2005).

Silva et al. (2005b) estudando a variação da composição química na madeira de *Eucalyptus grandis* de quatro diferentes idades (10, 14, 20 e 25 anos), proveniente de talhões comerciais, puderam concluir que os valores médios dos teores de holocelulose, lignina e extrativos foram de 69, 27 e 4%, respectivamente e que os teores de extrativos e lignina aumentaram com a idade, com maiores concentrações nos discos próximos da base, também, foi possível ver que o teor de holocelulose diminuiu com a idade, com maiores concentrações nos discos retirados nas regiões superiores do tronco.

3.4.3. Materiais Voláteis

A natureza dos componentes voláteis está baseada nos terpenos, álcoois, ésteres, aldeídos, cetonas, ácidos orgânicos, hidrocarbonetos alifáticos e fenóis. Os componentes voláteis são normalmente separados em óleos voláteis ou essenciais e terebintina ou turpentina. Os componentes voláteis da madeira estão presentes em quantidades significativas nas gimnospermas, porém são negligenciáveis nas angiospermas (KLOCK, 2005).

Na madeira os voláteis são compreendidos como a parte que se evapora quando a mesma é submetida a altas temperaturas e apresenta um importante papel no processo de combustão. Após o processo de evaporação, se misturam com o oxigênio do ar e entram em combustão, sendo assim de forma geral, as madeiras que apresentam maiores teores de materiais voláteis queimam mais rapidamente (PEREIRA et al., 2000).

3.4.4. Teor de Cinzas

O teor de cinzas é uma variável que demonstra-se inversamente proporcional ao rendimento gravimétrico, ou seja quanto menor for o teor de cinzas gerado no processo da pirólise, maior será o rendimento em energia (BRITO & BARRICHELO, 1977).

Segundo Brito e Barrichelo (1979) o teor de cinzas nada mais é do que o resíduo da queima do carvão, após a degradação total da madeira pelo processo da combustão. Esses teores podem variar de 0,5% a mais de 5%, dependendo da espécie, da quantidade de casca e da presença de terra e areia na madeira. Os teores de cinzas quando muito elevados podem exigir uma enorme quantidade de limpezas, sendo estas mais frequentes, podendo ocasionar corrosão nos equipamentos metálicos. Uma madeira de boa qualidade para a produção de energia deve apresentar teores de cinzas inferiores a 3% (PEREIRA et al., 2000).

3.4.5. Teor de Carbono Fixo

Os teores de carbono fixo podem ser utilizados para a determinação da qualidade do carvão, sendo que quanto maior for o teor de carbono fixo melhor será a qualidade do carvão (BRITO & TOMAZELLO FILHO, 1987).

O percentual de carbono fixo é referente à fração de carvão que é queimada no estado sólido. Madeiras que irão servir de combustível devem preferivelmente apresentar teores de carbono fixo mais elevados, devido a queima ser realizada mais lentamente (PEREIRA et al., 2000).

4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido a partir da parceria entre a Universidade Tecnológica do Paraná – Câmpus Dois Vizinhos e a empresa Araupel S/A, localizada em Quedas do Iguaçu-PR.

4.1. SECAGEM DOS CAVACOS

As toras, com casca, e as acículas de *Pinus taeda* foram colhidas e transportadas até o pátio da empresa Araupel, onde ficaram dispostas em pilhas com aproximadamente 300 toneladas. A secagem deste material ocorreu ao ar livre, sendo expostos às variações climáticas, para se assemelhar ao máximo às condições reais em que ficariam dispostas, caso este procedimento seja adotado pela empresa.

Nas segundas, quartas e sextas-feiras, uma máquina carregadeira retirava desta pilha três garradas do material, com aproximadamente 10 toneladas, e conduzia até o picador para produção de cavacos. Depois de processado, cinco amostras do material (cavacos e acículas) foram coletadas e pesadas, para posterior cálculo de umidade e PCU. O experimento teve duração de 54 dias, entre os meses de outubro a dezembro de 2013, totalizando 24 coletas.

A temperatura e umidade relativa do ar foram aferidas nos dias determinados para a coleta do material (Tabela 1).

Tabela 1 – Temperatura e Umidade Relativa do Ar no momento da coleta de cada amostra de cavacos em Quedas do Iguaçu-Paraná.

Coletas	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)
1	28.0	45
2	26.0	42
3	29.0	50
4	26.5	51
5	24.0	58
6	25.5	60
7	27.0	63
8	29.0	52
9	30.0	75
10	28.0	71
11	28.0	70
12	28.0	81
13	26.0	75
14	29.0	57
15	30.0	78
16	29.0	82
17	32.0	54
18	29.0	56
19	28.0	78
20	28.5	56
21	29.0	49
22	30.0	69
23	30.5	54
24	29.5	52

Fonte: O autor (2014).

4.2. TEOR DE UMIDADE

O teor de umidade dos cavacos e das acículas foi determinado segundo a norma ABNT/NBR 14929/2003.

Depois de picados, o peso úmido do material foi aferido por meio de balança de precisão, com sensibilidade de 0,01g e, posteriormente, seco em estufa com ventilação forçada a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$, até peso constante. O teor de umidade foi determinado conforme a Fórmula 1:

$$U(\%) = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100$$

Fórmula 1

Onde:

U(%)= Teor de umidade em base seca, em %;

Pi= Peso da amostra úmida, em g;

Pf= Peso da amostra seca, em g.

4.3. ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA

A determinação dos materiais voláteis, teor de cinzas e carbono fixo foram baseados na metodologia descrita na norma ABNT/NBR 8112/83, com algumas modificações.

Os materiais coletados durante a semana foram misturados, homogeneizados e processados em moinho de facas tipo Willey.

Após a moagem, as partículas foram classificadas em peneiras, sendo selecionadas aquelas que passaram pela de 40 mesh e ficaram retidas na de 60 mesh.

4.3.1. Teor de Materiais Voláteis

As partículas foram secas em estufa com ventilação forçada, a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$, durante 4 horas. Posteriormente, foram pesadas três amostras contendo 1 g do material.

A mufla foi aquecida, previamente, a $950^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$. O material foi colocado em cadinhos de porcelana com tampa e deixados por 2 minutos na porta da mufla. Após esse tempo, foram colocados em seu interior e fechou-se a porta, onde os mesmos permaneceram por mais 9 minutos. Posteriormente, os cadinhos foram colocados em dessecador para esfriar e então pesados.

O teor de materiais voláteis foi calculado através da Fórmula 2:

$$MV = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \quad \text{Fórmula 2}$$

Onde:

MV= Teor de materiais voláteis do carvão vegetal, em %;

P1= Massa inicial do cadinho + amostra, em gramas;

P2= Massa final do cadinho + amostra, em gramas;

4.3.2. Teor de Cinzas

Para determinação do teor de cinzas, a mufla foi aquecida a $600^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$. As amostras foram colocadas em cadinhos sem tampa e calcinadas por um período de 6 horas. As amostras, retiradas da mufla, permaneceram por aproximadamente uma hora no dessecador, por terem apresentado o peso estabilizado e foram então pesadas.

O teor de cinzas foi obtido através da Fórmula 3:

$$CZ = \frac{PR}{P} \times 100 \quad \text{Fórmula 3}$$

Onde:

CZ= Teor de Cinzas no Carvão, em %;

PR= Massa do resíduo, em gramas;

P= Massa da amostra seca, em gramas;

4.3.3. Teor de Carbono Fixo

O teor de carbono fixo é medido indiretamente e pode ser obtido através da Fórmula 4:

$$CF = 100 - (MV + CZ) \quad \text{Fórmula 4}$$

Onde:

CF= Teor de Carbono Fixo, em %;

CZ= Teor de cinzas, em %;

MV= Teor de materiais voláteis em %;

4.4. PODER CALORÍFICO

Os materiais coletados ao final do experimento foram misturados, homogeneizados e processados em moinho de facas tipo Willey. Após a moagem, as partículas foram peneiradas e selecionaram-se aquelas que passaram pela de 40 mesh e ficaram retidas na de 60 mesh. Três amostras foram retiradas desse material e posteriormente secas a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$, por 24 horas.

O poder calorífico em bomba calorimétrica foi determinado no Laboratório de Energia e Biomassa da Universidade Federal do Paraná, Câmpus Curitiba, seguindo os procedimentos descritos na norma ASTM D-2015-66 (Fórmula 5):

$$P_{CS} = \frac{C \times Dt - (C_1 + C_2)}{m} \quad \text{Fórmula 5}$$

Onde:

PCS= Poder calorífico superior, em cal/g ou kcal/kg;

C= Constante do calorímetro = 2461,98, obtido através de diversos testes para a calibração;

Dt= Diferença de leituras dos termômetros (antes e após a queima), (Temperatura final – Temperatura inicial);

C1= Correção em calorias para cada centímetro de fio queimado = 2,3 cal/cm. Dados médios de laboratório indicam que geralmente todo o fio é queimado gerando cerca de 20 calorias;

C2= Correção para calorias para titração em ácido nítrico, em ml. Dados médios de laboratório indicam 3 ml para carvão e 2 ml para madeira;

m= massa inicial em gramas.

A média das repetições do PCS foi utilizada para calcular o poder calorífico inferior (PCI) (DOAT, 1977), através da Fórmula 6:

$$PCI = PCS - 324 \quad \text{Fórmula 6}$$

Em que:

PCI= Poder calorífico inferior, em cal/g ou kcal/kg;

PCS= Poder calorífico superior, em cal/g ou kcal/kg;

O poder calorífico útil (PCU) foi determinado, segundo Brito (1993), pela fórmula 7:

$$PCU = PCI * (1 - u) - (600 * u) \quad \text{Fórmula 7}$$

Onde:

PCU= Poder calorífico útil, em cal/g ou kcal/kg;

PCI= Poder calorífico inferior, em cal/g ou kcal/kg;

u= Teor de umidade, em base úmida;

4.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado. Para as variáveis teor de umidade e PCU, 3 coletas semanais foram realizadas, sendo 5 repetições em cada uma delas, durante 8 semanas. A análise química imediata foi determinada a partir de amostragens semanais, com 3 repetições. O PCS foi obtido a partir de 3 repetições retiradas do material total final.

Os dados das variáveis avaliadas foram previamente submetidos ao teste de normalidade de Lilliefors, verificando-se a necessidade da transformação para as variáveis cuja unidade foi percentagem utilizou-se arco seno $\sqrt{x/100}$ e nas demais $\sqrt{x+1}$. Posteriormente foi realizado o teste de normalidade, e verificou-se que os dados apresentaram-se normais para todas as variáveis, com exceção da variável PCI. Com a transformação dos dados, os mesmos foram submetidos à análise de regressão polinomial por ser um fator quantitativo.

As análises foram processadas nos softwares estatísticos Assistat[®] e Sanest[®].

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de umidade dos materiais diminuiu com o tempo de secagem (Figura 1). Logo após serem colhidas, as madeiras começam a perder água para o ambiente. Klitzke (s/d) afirma que assim que a madeira úmida é colocada em contato com um ambiente seco, inicia-se a evaporação da água das camadas superficiais, enquanto que as camadas mais internas permanecem úmidas.

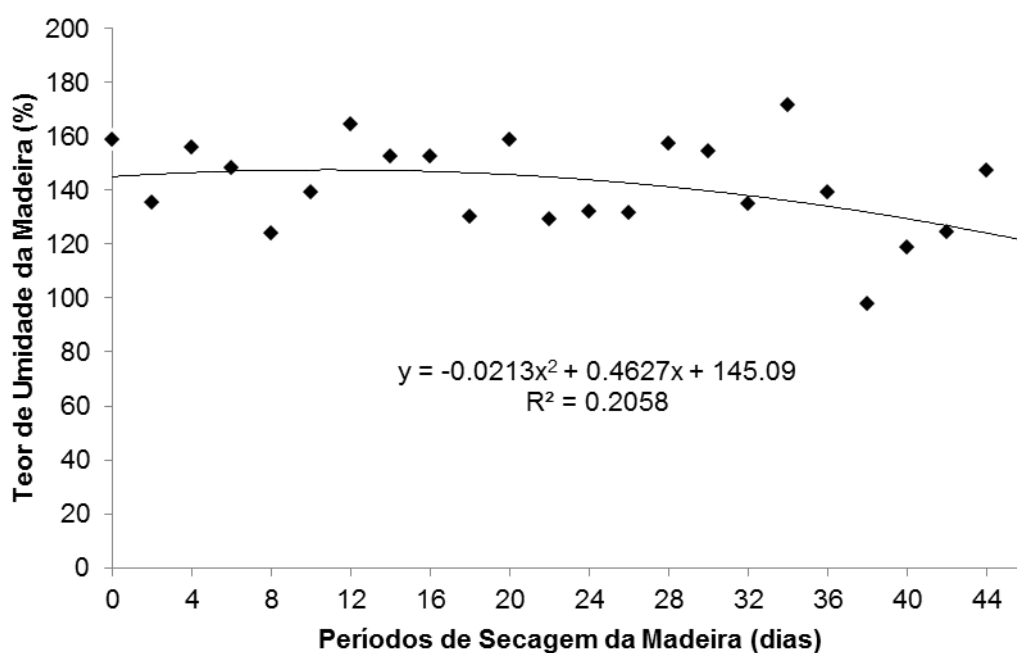


Figura 1 – Teor de Umidade da madeira (base seca) e acículas de *Pinus taeda* em função dos dias de secagem.
Fonte: O autor (2014).

O maior resultado para esta propriedade foi observado aos 12 dias de secagem com 147,58%. Possivelmente, a temperatura local e a UR do ar podem ter dificultado a perda de água da madeira para o ambiente.

A região em que o experimento foi conduzido possui um alto índice pluviométrico e, conseqüentemente, a UR do ar permaneceu elevada (Tabela 1). Além disso, as toras permaneceram com as cascas, e isto pode ter dificultado a saída de água no sentido transversal.

Silva & Oliveira (2003) afirmam que o teor de umidade da madeira é influenciado pela UR do ambiente, enquanto Klitzke (s/d) diz que, dependendo desses dois fatores, a madeira irá buscar um equilíbrio.

Brand (2007) avaliou o efeito da estocagem sobre a qualidade de toras com casca de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii* e costaneiras de *Pinus* spp. destinadas a geração de energia, obteve valores de PCU iguais a 1545 kcl/kg 3056 kcl/kg, 2204 kcl/kg, respectivamente, após dois meses. Ainda segundo a autora, as toras de *Pinus* com casca sofreram as menores alterações em relação à umidade ao final de seis meses e conseqüentemente, o pior desempenho energético.

O PCS do material, madeira e acículas de *Pinus taeda*, foi igual a 4656,33 Kcal.Kg⁻¹. Resultados semelhantes foram obtidos por Souza et al. (2012), para madeiras de *Pinus taeda* provenientes de costaneira, resíduo da colheita, refilo, pó de serra e cepilho com médias iguais a 4731Kcal.Kg⁻¹, 4902 Kcal.Kg⁻¹, 4535 Kcal.Kg⁻¹, 4747 Kcal.Kg⁻¹ e 4926Kcal.Kg⁻¹, respectivamente. Entretanto, Ferreira et al. (2007), observaram valores maiores para esta propriedade, com médias iguais a 5148Kcal.Kg⁻¹ para acículas de *Pinus taeda*, 4902Kcal.Kg⁻¹ para galhos 4894Kcal.Kg⁻¹ para a copa, e 5215Kcal.Kg⁻¹ para a casca. Supõe-se que a diferença seja devido à idade destas árvores, uma vez que a variação da quantidade de extrativos, lignina e nos compostos orgânicos pode interferir no PCS.

O PCU dos materiais aumentou com o tempo de secagem (Figura 2). Possivelmente, isso se deve a evaporação da água livre presente nos lúmens das células e espaços intercelulares. Segundo Lima (2010), quanto maior a umidade da madeira, menor será a energia liberada durante sua queima.

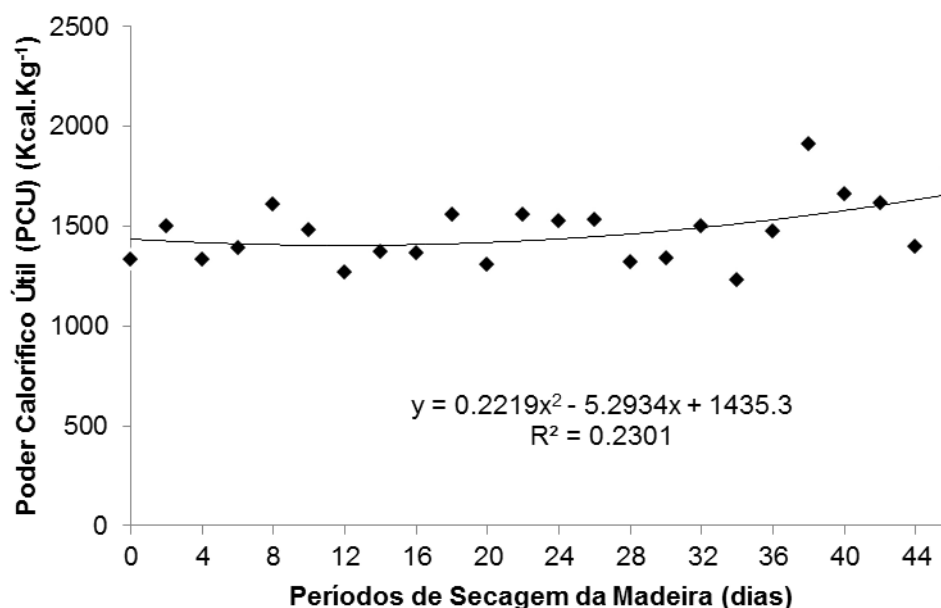


Figura 2 - Poder Calorífico Útil da madeira e das acículas de *Pinus taeda* em função dos dias de secagem.

Fonte: O autor (2014).

O menor resultado para o PCU foi observado aos 12 dias de secagem, com 1403,73 Kcal.Kg⁻¹. Supõe-se que este resultado se deve à ocorrência de precipitações nos dias anteriores e ao aumento da UR do ar (Tabela 1), influenciando na umidade das madeiras. Silva et al. (2005a) afirma que de acordo com a variação da umidade de relativa do ambiente, ocorre uma variação no teor de umidade da madeira, buscando sempre a umidade de equilíbrio.

O PCU aumentou significativamente à medida que o teor de umidade da madeira diminuiu (Figura 3). Ortolan et al. (2014) afirmam que a diminuição da umidade no interior da madeira, acarreta aumento significativo no PCU, sendo um fator inversamente proporcional ao outro.

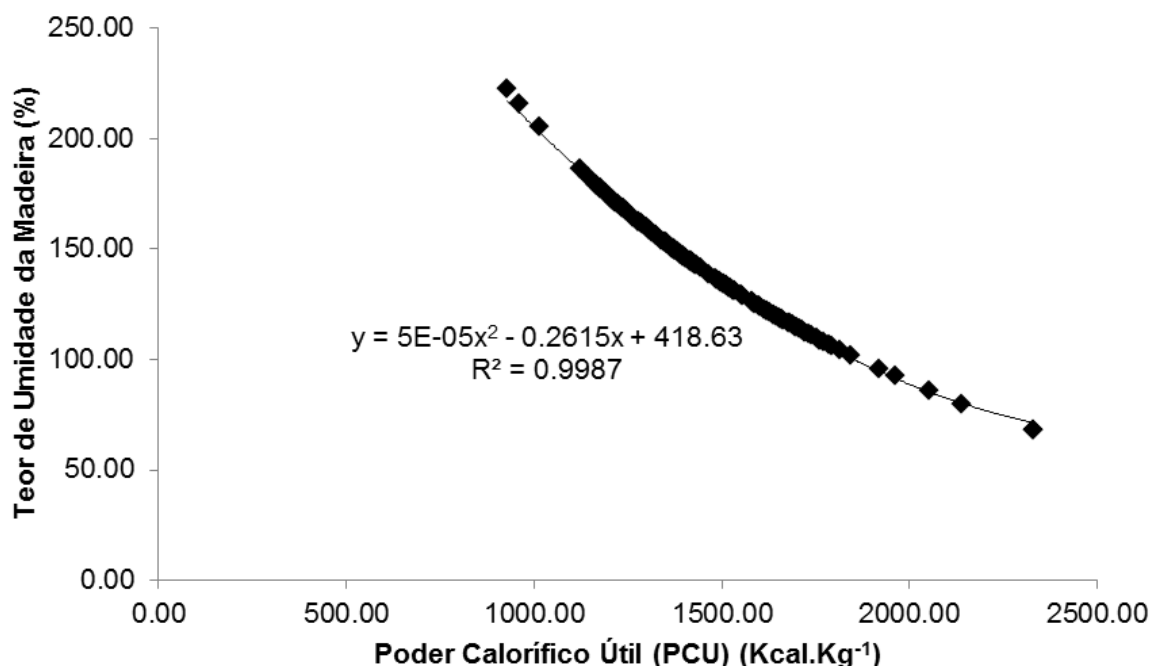


Figura 3 – Teor de Umidade (base seca) da madeira e acículas de *Pinus taeda* em função do poder calorífico útil.
Fonte: O autor (2014).

Furtado et al. (2012), estudaram a correlação entre o teor de umidade e o PCU de diferentes partes da planta (acícula, casca, copa e galho), em povoamentos de diferentes idades (10, 12, 14 e 24 anos), e concluíram que existe uma correlação negativa entre o teor de umidade e o poder calorífico útil, ou seja, o aumento da umidade contribui para uma diminuição considerável no aproveitamento do PCU.

A análise química imediata não foi afetada pelo tempo de secagem dos materiais (Tabela 2). Supõe-se que o teor de materiais voláteis, teor de carbono fixo e teor de cinzas não são afetados pelo teor de umidade da madeira e sim apenas pelos locais de coleta, como costaneira, resíduo de colheita, refilo, pó de serra e cepilho (Souza et al., 2012).

Tabela 2 - Valores médios do Teor de Materiais Voláteis, Teor de Cinzas e Teor de Materiais Voláteis. Dois Vizinhos, 2014.

Variáveis	Média
Teor de Materiais Voláteis (%)	82,09 ^{ns}
Teor de Cinzas (%)	2,13 ^{ns}
Teor de Carbono Fixo (%)	15,78 ^{ns}

^{ns} Não significativo à 5% de probabilidade de erro.

Fonte: O autor (2014)

O valor médio para do teor de materiais voláteis foi de 82,09%. Este valor foi menor ao observado por Souza et al. (2012) em resíduos da colheita florestal (casca, acícula e madeira) de *Pinus taeda*, médias iguais a 85,09%. Entretanto, estes resultados foram superiores ao observado por Trugilho et al. (2005) em madeira de *Eucalyptus* sp. com teores de 35%. Supõe-se que essa diferença seja devido às cascas, acículas e a maior quantidade de extrativos presentes na madeira de coníferas.

O teor de cinzas dos cavacos e acículas foi de 2,13%. Esse valor foi maior do que aqueles relatados por Souza et al. (2012) e Brito & Nucci (1984) com teores de cinzas iguais a 0,20% e 0,4%, para as madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus caribaea*, respectivamente. Entretanto, Furtado et al. (2012) analisaram o teor de cinzas em acículas de *Pinus taeda* e observaram teores iguais a 2,96%. A diferença entre os resultados pode ser justificada pela presença de acículas e cascas junto aos cavacos de madeira.

A porcentagem de casca na biomassa florestal estocada pode variar ao longo do tempo, principalmente pelas perdas durante esse período que antecede a produção de energia. Com isso, a quantidade de casca pode interferir diretamente sobre o teor de umidade, poder calorífico e quantidades de extrativos presentes e perdidos durante o período de estocagem, o que pode afetar o teor de cinzas (Brands, 2007).

O teor de carbono fixo do material foi de 15,78%. Este valor foi maior ao observado por Souza et al. (2012) em resíduos da colheita florestal de *Pinus*, materiais estes semelhantes aos pesquisados neste trabalho, com 14,06%. Souza (2010) determinou o carbono fixo de costaneiras, cepilhos, refilos e pó de serra de *Pinus*, e observou valores médios de 17,01%, 14,01%, 14,80% e 13,44%, respectivamente.

6. CONCLUSÃO

A secagem ao ar livre das acículas e das toras de *Pinus taeda* contribui para que o teor de umidade diminuísse. Dessa forma, a eficiência energética do material aumentou, conferindo maior PCU, ou seja, mais energia aproveitada durante a queima o que já era esperado. Porém, do ponto de vista prático, a perda de água foi baixa o que torna inviável o processo de secagem da madeira nessas condições (com casca e sentido horizontal). Com isso, novas pesquisas utilizando diferentes métodos de secagem são necessárias, para que o resultado reflita no poder calorífico útil.

Nas condições experimentais desse trabalho, a secagem ao ar do material não interferiu nas porcentagens de carbono fixo, teor de cinzas e materiais voláteis.

RECOMENDAÇÕES

Sugere-se que novos trabalhos sejam realizados, em diferentes épocas do ano, para verificar a interferência da umidade relativa do ar na secagem das toras. Outra possibilidade se refere à estocagem, testando-se a disposição dos materiais em pátios ou em campo.

Aliado a estas variações, recomenda-se também que estudos econômicos sejam realizados para se obter resultados mais expressivos sobre a viabilidade da secagem de toras e/ou cavacos. Grande parte dos cavacos gerados é destinada à produção de energia e, à medida que a umidade destes é menor, maior é o seu valor comercial.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Ananda. V.; SOUSA, Valderês. A.; SHIMIZU, Jarbas. Y. Cultivo de Pinus. Embrapa Florestas, Sistemas de Produção, ed.2, ISSN **1678-8281**-Versão Eletrônica, 2011. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus_2ed/> Acessado em: 01 de agosto de 2013.

ÁRBOLES ORNAMENTALES. **Família Pinaceae**. Disponível em: <<http://www.arbolesornamentales.es/Pinaceae.htm>> Acesso em: 30 de julho de 2013.

BARRICHELO, Luiz. E. G.; KAGEYAMA, Paulo. Y.; SPELZ, Raul. M.; BONISH, Hans. J.; BRITO, José. O.; FERREIRA, Mário. Estudos de procedências de *Pinus taeda* visando seu aproveitamento industrial. **Boletim Informativo do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**. Piracicaba, v.6, n.18, p.4-11, 1978.

BOGNOLA, Itamar. A.; RIBEIRO Jr., Paulo. J.; SILVA, Edson. A. A.; LINGNAU, Christel.; HIGA, Antônio. R. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda*L. **Floresta**. Curitiba, v.38, n.2, p.373-385, 2008.

BRAND, Martha. A. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem**. 2007. 169f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

BRITO, José .O.; BARRICHELO, Luis. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: i. Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. **IPEF** n.14, p.9-20, 1977. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr14/cap01.pdf>>. Acesso em: 05 de fev. 2014.

BRITO, José .O.; BARRICHELO, Luis. E. G. Usos diretos e propriedades da madeira para a geração de energia. Piracicaba: IPEF junho 1979. **Circular Técnica n. 52**. Disponível em: < <http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr052.pdf>>. Acesso em;15/10/2009.

BRITO, José .O.; NUCCI, Oscar. Estudo tecnológico da madeira de *Pinus* spp para a produção de carvão vegetal e briquetagem. **IPEF**, n.26, p.25-30, 1984.

BRITO, José. O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In Congresso Florestal Panamericano, 1, Congresso Florestal Brasileiro, 7, 1993, Curitiba, **Anais...**Curitiba: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993, p.280-282.

BRITO, José. O.; TOMAZELLO FILHO, Mario. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. **IPEF**, n.36, p.13-17, 1987.

CUNHA, M. P. S. C.; PONTES, C. L. F.; CRUZ, I. A.; CABRAL, M. T. F. D.; CUNHA NETO, Z. B.; BARBOSA, A. P. R. **Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras**. In: 3º encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira: Anais, v.2, p. 93-121, São Carlos, 1989.

DOAT, J. Le pouvoiorclorifique dês bois tropicaux. **Revista Bois ForêtsTropicaux**, n.172, p.33-48, 1977.

FARINHAQUE, Roberto. **Influência da umidade no poder calorífico da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella*, Benth) e aspectos gerais da combustão**. Curitiba: FUPEF, 1981. Seria Técnica nº 6.

FERREIRA, Juliana. C.; FURTADO, Thielly. S.; NEVES, Marcio. D.; BRAND, Martha. A. Influencia do teor de umidade no poder calorífico em diferentes idades e componentes de arvores de *Pinus taeda*. In: 1º CONGRESSO SOBRE FLORESTAS ENERGÉTICAS, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Belo Horizonte-MG, 2007.

FOELKEL, Celso. E. B.; BRASIL, Maria. A. M.; BARRICHELO, Luiz. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, n.2/3, p.65-74, 1971.

FONSECA, Sebastião. M.; KAGEYAMA, Paulo. Y.; FERREIRA, Mário.; JACOB, W. S. Síntese do Programa de Melhoramento Genético de *Pinus* spp. que vem sendo conduzido, sob a coordenação do IPEF, na Região Sul do Brasil. **Boletim Informativo do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**. Piracicaba, v. 6, n. 18, p.44-52, 1978.

FONTES, Paulo. J. P. **Auto-suficiência energética em serraria de Pinus e aproveitamento de resíduos**. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 1994.

FURTADO, Thielly. S.; FERREIRA, Juliana. C.; BRAND, Martha. A.; NEVES, Márcio. D. Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de *Pinus taeda* em diferentes idades. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.3, p.577-582, 2012.

GONÇALVES, José. E.; SARTORI, Maria. M. P.; LEÃO, Alcides. L. Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.5, p.657–661, 2009.

JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F.; DONOGHUE, M. J. **Plant systematics: a phylogenetic approach**. Sinauer Associates, Sunderland, 3 ed., p. 210-213, 2008.

KLITZKE, Ricardo. J. **Curso de Secagem da Madeira**. DETF/UFPR, s/d. 119p.

KLOCK, Umberto.; MUÑIZ, Graciela. I. B.; HERNANDEZ, José. A.; ANDRADE, Alan. S. **Química da madeira**. Curitiba, Universidade Federal Do Paraná, ed.3, 2005. 86p.

LIMA, Edson. A. **Alternativa para estimar o preço da madeira para energia**. EMBRAPA, Colombo, PR, 2010. (Comunicado Técnico, 260).

LORENZI, Harri.; SOUZA, H. M.; TORRES, M. A. V.; BASHER, L. B. **Árvores Exóticas no Brasil – madeiras, ornamentais e aromáticas**. Instituto Plantarum, Nova Odessa, 2003, 368 p.

OLIVEIRA, José. T. S.; HELLMEISTER, João. C.; TOMAZELLO FILHO, Mário. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.1, p.115-127, 2005.

ORTOLAN, Claudio.; AZEVEDO, Edson. W.; ANTIQUEIRA, A. C.; ORTOLAN, Francis A. S.; BONISCH, Hans. **Aproveitamento da biomassa residual de colheita florestal**. Disponível em: <http://ciflorestas.com.br/arquivos/doc_aproveitamento_florestal_11596.pdf>. Acesso em: 05 de Fev. 2014.

PEREIRA, José. C. D.; STURION, José. A.; HIGA, Antonio. R.; HIGA, Rosana. C. V.; SHIMIZU, Jarbas. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38).

QUIRINO, Waldir. F. Poder calorífico da madeira e materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, n.89, p.100-106, 2005. Disponível em: <<http://www.funtec.org.br/arquivos/podercalorifico.pdf>>. Acesso em 05 de fev. 2014.

QUIRINO, Waldir. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília, Laboratório de Produtos Florestais - LPF/IBAMA. 2003. 14p.

QUIRINO, Waldir. F.; VALE, A.T do; ANDRADE, A.P.A. de; ABREU, V.L.S.; AZEVEDO, AC.dos S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa e Energia**, Viçosa, v.1, n.2, p. 173-182. 2004.

REISSMANN, Carlos. B.; WISNIEWSKI, Celina. **Aspectos nutricionais de plantios de Pinus**. Curitiba: UFPR, 2001. Disponível online em: <<http://agrarias.ufpr.br/~mrlima/pesquisas/R001.htm>>. Acesso em 01/08/2013.

SANTINI, Elio. J. **Alternativas para monitoramento e controle do processo de secagem de madeira serrada em estufa**. 218f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

SATER, Osmir.; SOUZA, Natalia. D.; OLIVEIRA, Eva. A. G.; ELIAS, Tatiana. F.; TAVARES, Rafael. Estudo comparativo da carbonização de resíduos agrícolas e florestais visando à substituição da lenha no processo de secagem de grãos de café. **Revista Ceres**, Viçosa, v.58, n.6, p. 717-722, 2011.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Brasil com Florestas**. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2012.

SHIMIZU, Jarbas. Y. Pinus na silvicultura brasileira. **Revista da Madeira**. Curitiba, v. 16, n. 99, p. 4-14, set. 2006.

SILVA, Dimas. **Avaliação da eficiência energética em uma indústria de painéis compensados**. 182f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2001.

SILVA, Graciane. A.; MENDES, Lourival. M.; TRUGILHO, Paulo. F.; MORI, Fábio. A.; SANTOS, Izaías. F. Umidade de equilíbrio de painéis de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.4, p.639-646, 2005a.

SILVA, José. C.; MATOS, Jorge. L. M.; OLIVEIRA, José. T. S.; EVANGELISTA, Wesclei. V. Influência da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.3, p.455-460, 2005b.

SILVA, José. C.; OLIVEIRA, José. T. S. Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *Eucalyptussaligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.233-239, 2003.

SOUZA, Marina. M. **Caracterização e viabilidade econômica do uso energético de resíduos da colheita florestal e do processamento de *Pinus taeda* L.** 2010. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de concentração em Tecnologia da Madeira, Universidade Federal do Paraná, 2010.

SOUZA, Marina. M.; SILVA, Dimas. A.; ROCHADELLI, Roberto.; SANTOS, Rosimeire C. Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **Floresta**, Curitiba-PR, v.42, n.2, p.325-334, 2012.

STURION, José. A.; PEREIRA, José. C. D.; ALBINO, José. C.; MORITA, Milton. Variação da densidade básica da madeira de doze espécies de *Eucalyptus* plantadas em Uberaba, MG. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.14, p.28-38, 1987.

TOMASELLI, Ivan. Secagem de lâminas para indústria de painéis. **Madeira Móveis**, n.1, v.1, p. 27-33, 1983.

TRUGILHO, Paulo. F.; SILVA, José. R. M.; MORI, Fábio. A.; LIMA, José. T.; MENDES, Lourival. M.; MENDES, Lázaro. F. B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v.11, n.2, p.178-186, 2005.

U.S.D.A. **Wood Handbook**. Washington: U.S. Government Printing Office, 1968.

VALE, Ailton. T.; GENTIL, Luiz. V.; GONÇALEZ, Joaquim. C.; COSTA, Alexandre, F. Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (*Coffea arabica*, L) e de madeira (*Cedrelinga catenaeformis*, DUKE). **Cerne**, Lavras, v.13, n.4, p.416-420, 2007.

VASQUES, André. G.; NOGUEIRA, Alex. S.; KIRCHNER, Flávio. F.; BERGER, Ricardo. Uma síntese da contribuição do gênero *Pinus* para o desenvolvimento sustentável no sul do Brasil. **Floresta**. Curitiba, v. 37, n.3, p.445-450, 2007.

VLASSOV, Diego. **Combustíveis, combustão e câmaras de combustão**. Curitiba: Editora UFPR. 2001.