

Influência da época de colheita da biomassa florestal sobre sua qualidade para a geração de energia

Influence of the harvest season over the quality of wood fuel

Martha Andreia Brand¹ e Graciela Inês Bolzon de Muñiz²

Resumo

Este trabalho teve o objetivo de determinar a época ideal de colheita para a utilização da biomassa florestal na geração de energia. O experimento foi realizado no município de Lages, SC. Foram utilizadas toras com casca de *Pinus taeda* L. e de *Eucalyptus dunnii* Maiden. A colheita da biomassa foi realizada nos meses de outubro, janeiro, maio e agosto. As análises da qualidade energética foram feitas no material recém colhido, e as propriedades avaliadas foram: teor de umidade na base úmida, poder calorífico superior e líquido, composição química (extrativos) e teor de cinzas. A época de colheita teve influência sobre a qualidade da biomassa florestal para a geração de energia. O *Pinus* e o *Eucalyptus* tiveram comportamentos diferenciados em suas propriedades físicas, químicas e energéticas nas diferentes épocas de colheita. As propriedades mais afetadas pela época de colheita foram o teor de umidade e o poder calorífico líquido, e em menor proporção a composição química. As melhores épocas para a colheita da biomassa para geração de energia foram a primavera e verão, respectivamente. O uso da biomassa nas condições de recém colhida não é recomendado em função dos elevados teores de umidade (próximo de 50%) e baixo poder calorífico líquido (inferior a 1900 kcal/kg).

Palavras-chave: energia, *Pinus taeda* L., *Eucalyptus dunnii* Maiden

Abstract

The objective of this study was to determine the ideal harvest season in order to make use of the wood to generate energy, by means of the analysis of the influence of this factor over the physical and chemical properties of wood with bark. The experiment was accomplished in Lages, in the State of Santa Catarina, Brazil, employing *Pinus taeda* L. and *Eucalyptus dunnii* Maiden logs with barks. The material used for the analysis was collected in the state of fresh material in October, January, May and August. The evaluated properties were: moisture content; gross calorific value and net calorific value, wood chemical composition (extractives) and ash content. Harvesting season had an influence on the quality of forest biomass for energy generation. *Pinus* and *Eucalyptus* had different behaviors in their physical, chemical and energy properties at different harvest season. The properties most affected by harvest season were the moisture content and net calorific value, and to a lesser extent the chemical composition. The best season for harvesting of biomass were the spring and summer, respectively. The use of freshly biomass is not recommended due to high moisture content (around 50%) and low net calorific value (less than 1900 kcal / kg).

Keywords: Energy; *Pinus taeda* L., *Eucalyptus dunnii* Maiden

INTRODUÇÃO

A época de colheita é um dos fatores que afetam a qualidade da biomassa florestal para a geração de energia (HEDING, 1984; THÖRNQVIST, 1984; NURMI, 1992 e 1995; e GARS-TANG *et al*, 2002), sendo que esta variável influencia as alterações das propriedades físicas e químicas da biomassa.

Segundo Garstang *et al* (2002), a época de colheita está relacionada à estação de cresci-

mento das árvores, dormência e estocagem de metabólitos. Estes fatores, por sua vez, afetam as mudanças ocorridas na biomassa florestal após a colheita e durante a estocagem devido, principalmente, às variações de teor de umidade e suscetibilidade à biodegradação.

Assim, o teor de umidade é o primeiro fator a ser avaliado com relação à influência da época de colheita sobre a qualidade da biomassa florestal. Enquanto as árvores estão vivas, o conteúdo de umidade tanto de folhas, galhos, casca e

¹Engenheira Florestal, Dra., Professora do Departamento do Engenharia Florestal da Universidade do Estado de Santa Catarina - Luiz de Camões, 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages - SC. E-mail: a2mab@cav.udesc.br

²Engenheira Florestal, Dra., Professora do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná. Av. Prof. Lothário Meissner, 900, Jardim Botânico, CEP 80210-170, Curitiba - PR. E-mail: gmunize@ufpr.br

madeira é alto. Porém, segundo Heding (1984), após a derrubada destas, inicia-se um processo de secagem natural ou biológica, que é definida como a secagem natural de árvores cortadas durante a estação de crescimento e deixadas com a copa e folhas para acelerar o processo de secagem. A árvore continua o processo de respiração e conseqüentemente consome parte da umidade contida na madeira, até que a biomassa entre em equilíbrio com o ambiente.

Os teores de umidade observados em árvores de diferentes espécies, recém-colhidas, podem variar de 40 a 70 % (BRITO; BARRICHELO, 1982, HEDING, 1984, THÖRNQVIST, 1984, NURMI, 1995), sendo que, em alguns casos, estes estão próximos ou ultrapassam o teor de umidade crítico para o uso da biomassa na geração de energia. O conteúdo de umidade crítico, para fornos construídos para a queima de partículas verdes, como combustível, é o mais alto possível, ou seja, em torno de 60 %. Na prática, o valor a ser considerado pode ser de 50 % (HEDING, 1984).

Segundo Garstang *et al* (2002), o teor de umidade da biomassa florestal, para uso energético, deve ser igual ou inferior a 30%. Portanto as operações aplicadas ao material destinado à geração de energia devem objetivar percentuais inferiores a este.

Heding (1984) e Nurmi (1995) avaliaram a variação do teor de umidade em função da época de colheita da biomassa florestal, na Dinamarca e Finlândia, respectivamente. Ambos afirmaram que as variações observadas em função da época de colheita não foram significativas. Os resultados apresentados por Heding (1984) foram mais baixos na primavera (51,4%) e os valores mais altos no inverno (57,8%). Apesar da pequena variação do conteúdo de umidade, os resultados indicaram que a melhor época de colheita, na Dinamarca, é no final do inverno ou início da primavera, quando os conteúdos de umidade são menores. Isso porque, partindo-se de um teor de umidade menor, a energia gasta para secar a biomassa, ou mesmo o tempo de estocagem, no caso da realização deste tratamento será menor.

Juntamente com o teor de umidade, a quantidade de extrativos presentes na biomassa pode sofrer variações em função da época de colheita. Segundo Garstang *et al* (2002), colheitas feitas no verão, incluindo toda a copa da árvore tem maior conteúdo de umidade e maior quantidade de carboidratos solúveis. A casca estoca proteínas

durante o outono e inverno, e declina novamente na primavera com a retomada do crescimento dos brotos e aumento do comprimento dos dias. Além disso, o xilema da madeira, não ativo fisiologicamente, tem concentração mais baixa de carboidratos solúveis em água em comparação com as células vivas do câmbio e floema (NURMI, 1992 e GARSTANG *et al*, 2002).

A quantidade de extrativos obtidos na madeira é relativamente pequena se comparada à quantidade obtida na casca e folhagem. Na madeira, os valores obtidos variaram de 3,5 a 5,4 % para coníferas e 4,4 a 7,5 % para folhosas (NURMI, 1992). Antes do processo de estocagem Garstang *et al* (2002) encontraram valores entre 0,4 a 1,94 % para extrativos solúveis em água para madeira de *Salix* com 3 anos de idade, colhida no inverno, e 0,4 a 2,4 % para madeira de resíduos florestais.

Swan, apud Fengel e Wegener (1989) observou variação sazonal na composição dos ácidos graxos totais na madeira de *Picea* spp. com a presença de ácidos de cadeia curta durante o início do verão e um aumento do ácido linoléico (C18:3) durante a época de inverno. Ao contrário, Ekman *et al.* (1979), apud Fengel e Wegener (1989) não encontraram variação nos ácidos graxos na mesma espécie de madeira durante diferentes estações do ano. Estes interpretaram os resultados do estudo anterior como variações devidas a coleta feita em diferentes árvores.

Quanto ao poder calorífico superior, tem-se verificado valores para madeira de 3500 a 5000 kcal/kg (BRITO; BARRICHELO, 1982; THÖRNQVIST, 1986; MARTÍN, 1997; NURMI, 1990, 1992, 1995; ANTUNES; ALMEIDA, 2003; NOGUEIRA; LORA, 2003; TEIXEIRA; LORA, 2004 e QUIRINO *et al*, 2004). Para biomassa recém colhida, foram observados valores médios de poder calorífico superior de 4839 kcal/kg para madeira; 5008 kcal/kg para acículas; 4925 kcal/kg para casca (THÖRNQVIST e GUSTAFSSON (1983), apud THÖRNQVIST, 1985). No trabalho de Nurmi (1995) foi encontrado o valor médio de 4777 kcal/kg, para a madeira do gênero *Salix*, contendo casca. Nurmi (1990) observou valores em torno de 4800 kcal/kg em cavacos de *Betula pubescens*. Para resíduos florestais de *Quercus*, Thörnqvist (1986) obteve valores entre 4600 a 5000 kcal/kg.

Para o poder calorífico líquido, Brito e Barrichelo (1982); Brito (1986), Nogueira e Lora (2003); Teixeira e Lora (2004) e Lehtovaara (2004) mencionam valores entre 1700 a 2270 kcal/kg para

material com 50 % de umidade e 2700 a 3300 kcal/kg para material com 30 % de umidade.

Quanto ao teor de cinzas, Jirjis (2005) observou valores médios de 1,89 % para ramos de *Salix*, na forma de partículas, Thörnqvist (1986) encontrou valores entre 0,9 a 1,5 % de teor de cinzas para partículas de *Quercus* e de 1,8 a 2,4 % para resíduos florestais. Para esta variável também não foram encontradas referências com relação à influência da época de colheita sobre a variação nos valores de cinzas da biomassa. Brito e Barrichelo (1982) mencionam ainda valores de 0,41 a 0,53 % para espécies de *Eucalyptus* com quatro anos de idade.

Portanto, é importante determinar quais são as épocas de colheita da biomassa que contribuirão de forma mais significativa para a melhoria das propriedades da matéria-prima, destinada à geração de energia. Além disso, o conhecimento deste aspecto contribuirá ainda na determinação da necessidade de realização de operações de tratamento da biomassa, como por exemplo, a estocagem, de forma a melhorar as propriedades da biomassa recém colhida.

Assim, levando-se em consideração as questões mencionadas anteriormente, este trabalho teve o objetivo de determinar a época ideal de colheita para a utilização da biomassa florestal na geração de energia, através da análise da variação de suas propriedades físicas e químicas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em Lages, Santa Catarina, que possui clima temperado com verão e inverno bem definidos pela variação de temperatura e precipitação (Tabela 1).

Foram utilizadas toras com casca de *Pinus taeda* L. e de *Eucalyptus dunnii* Maiden, com diâmetros variados e comprimento médio de 2,4 m. Os diâmetros das toras variaram de 8 a mais de

30 cm, pois o material de estudo foi constituído de madeira destinada à geração de energia (toras finas) e toras descartadas em processos industriais (toras grossas), sendo que esta variável não foi controlada no estudo.

Para cada lote analisado (lote 1- outubro; lote 2- janeiro; lote 3 - maio e lote 4 -agosto) foi colhido 10 m³ de madeira, de cada espécie, para a realização dos estudos no material recém colhido e para futuras análises do comportamento da biomassa frente à estocagem.

Em cada coleta, no material recém colhido, foram retiradas do lote 20 toras com diâmetros variados. Sem haver remoção da casca, todas as toras passaram em um picador de tambor para a obtenção dos cavacos. Do montante dos cavacos foram retiradas as amostras, utilizadas na determinação das propriedades físicas e químicas. O teor de umidade na base úmida, composição química da madeira, poder calorífico superior e líquido e o teor de cinzas foram analisados segundo as normas NBR 14929 (ABNT, 2003) ; TAPPI T 207 (TAPPI, 1994a); TAPPI 212 (TAPPI, 1994b) ; DIN 51900 (DIN, 2000) e TAPPI 211 (TAPPI, 1994c), respectivamente. O poder calorífico líquido foi determinado diretamente no calorímetro, a partir dos dados de poder calorífico superior, determinado pelo próprio equipamento, e da inclusão em programa específico contido no equipamento, dos dados de % de hidrogênio da amostra, teor de umidade na base úmida e teor de cinzas.

Os resultados apresentados nas tabelas são valores médios das repetições feitas em cada amostra, para cada propriedade determinada, e para cada um dos materiais testados; e a média geral, considerando a época de colheita, mas não o tipo de material avaliado. Nas figuras são apresentadas as variações ocorridas nos valores obtidos para cada propriedade, em cada época de colheita, porém sem considerar as espécies

Tabela 1. Condições climáticas de Lages – SC, durante o período de realização do estudo (outubro de 2003 a fevereiro de 2005).

Table 1. Weather conditions during the study - Lages – SC (from October, 2003 to February, 2005).

Dados	Ano																
	2003			2004										2005			
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
Precipitação (mm)	119	94	225	81	114	144	82	103	28	233	52	278	162	104	136	147	47
Temperatura (°C)	18	19	20	21	21	20	19	13	13	12	14	17	17	19	20	22	22
Umidade relativa (%)	76	72	79	78	76	77	83	85	82	84	77	82	75	76	76	76	75

Fonte: EPAGRI (2006)

Nota: A precipitação total do ano de 2004 foi de 1517 mm, e os valores médios de temperatura e umidade relativa foram 17°C e 79%, respectivamente. Os dados apresentados refletem as condições climáticas de anos típicos na região.

separadamente. Assim, as análises foram feitas separadamente por espécie e conjuntamente, sem a distinção de espécie. Os resultados obtidos representam tanto a variação ocorrida dentro de cada espécie analisada, em diferentes épocas de colheita, como a amplitude do que pode ser observado em relação às diferentes espécies de biomassa usadas para a geração de energia, quando estas são utilizadas conjuntamente na mesma época, na região de estudo.

O tratamento estatístico foi feito através do teste F e a análise fatorial considerando a interação espécie x época de colheita. Para a verificação da ocorrência de variações significativas, e confirmação da variação, em ambos os casos (variação dentro da espécie analisada e variação da biomassa em geral em função da época de colheita), foi utilizado o Teste de média de Tukey ($P > 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Teor de umidade

Ao contrário do que Heding (1984) e Nurmi (1995) afirmaram, neste trabalho houve diferença significativa para o teor de umidade, em função da época de colheita (Tabela 2), tanto na análise das variações ocorridas dentro da mesma espécie, como na análise da biomassa em geral, sem considerar o fator espécie. Assim, os resultados obtidos concordam com Hakkila (1962), apud Nurmi (1995), que afirmou que a umidade flutua com as estações do ano. Gars-tang *et al.* (2002) concluiu que colheitas feitas no verão, incluindo toda a copa da árvore, têm maior conteúdo de umidade, contrariando também os dados obtidos aqui.

A aplicação do Teste de médias de Tukey (Tabela 2) demonstrou que o mês de maio, onde o teor de umidade médio foi maior, e com grande amplitude nos resultados obtidos (Figura 1), teve comportamento diferente de todas as demais épocas de colheita, quando considerada a variação dentro das espécies estudadas, e igual somente a agosto, quando avaliada a biomassa de forma conjunta.

Da mesma forma, nos meses de outubro e janeiro o comportamento, tanto das espécies separadamente, como a biomassa em geral, apresentou os menores valores de teor de umidade e com comportamento similar, enquanto que a biomassa colhida no final do inverno (agosto) teve um comportamento intermediário entre a pior condição, início do inverno, e a melhor condição (verão).

O grupo primavera-verão, com menores teores de umidade e o grupo outono-inverno, com maiores teores de umidade, apresentaram a mesma tendência observada por Heding (1984). No entanto, os valores de teor de umidade na base úmida tiveram maior amplitude de variação que no trabalho de Heding (1984), variando desde 49% na coleta feita na primavera até 65% de teor de umidade na coleta feita no outono. As coletas feitas no início da primavera e no verão conferiram à biomassa os menores teores de umidade, como também a menor variação nos resultados obtidos (Figura 1).

Em função da relação entre o teor de umidade e a quantidade de metabólitos presentes na biomassa, nas diferentes estações do ano (GARS-TANG *et al.*, 2002), esperava-se que os teores de umidade da madeira com casca fossem maiores nas épocas onde a intensidade fisiológica é maior (primavera e verão). No entanto, os resultados obtidos foram o oposto do esperado. Avaliando-se a quantidade de metabólitos, medidos a partir da solubilidade da madeira em água fria, quente e teor de cinzas (Tabela 3), pode-se perceber, que apesar de haver menos água, a quantidade destes componentes é maior nas referidas épocas, com variações entre o *Pinus* e *Eucalyptus*.

Portanto, concordando com Heding (1984), as melhores épocas de colheita são na primavera e verão, quando os teores de umidade são os mais baixos para a biomassa florestal.

Porém, se for considerado somente o teor de umidade no momento da colheita, os valores observados são muito altos, indicando a necessidade de realização de estocagem para a redução desta propriedade física até valores próximos de 30%, otimizando assim o rendimento e eficiência da biomassa na geração de energia.

Tabela 2. Teor de umidade médio (%), na base úmida, em função da época de colheita da biomassa florestal.
Table 2. Moisture content (%) of forest biomass in relation to the harvest period.

Época de colheita	Outubro (2003)	Janeiro (2004)	Mai (2004)	Agosto (2004)
<i>Pinus taeda</i> L. com casca	56c	55c	65a	61b
<i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden com casca	53b	50c	58a	53b
Média (%)	54b	53b	62a	57ab

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre si (Tukey $P > 0,05$).

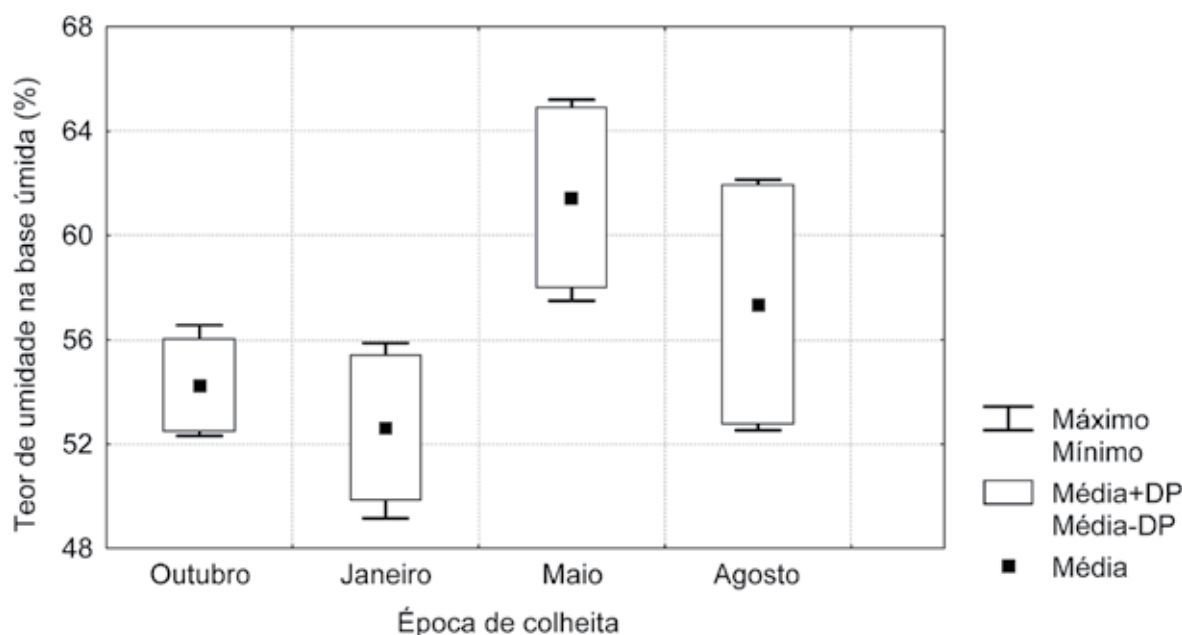


Figura 1. Variação do teor de umidade na base úmida da biomassa florestal em função da época de colheita (2003/2004).

Figure 1. Variation of the moisture content of forest biomass in relation to the harvest period (2003/2004).

Estudos realizados por Brand (2007) indicaram que a biomassa mantida sob estocagem entre outubro a maio alcançou teores de umidade médios de 24% com quatro meses de estocagem; a biomassa estocada entre janeiro a agosto permaneceu com altos teores de umidade (entre 40 e 50%) durante os seis meses nos quais ficou estocada; a biomassa estocada entre maio a novembro atingiu em torno de 36% de teor de umidade com quatro meses de estocagem e a biomassa estocada entre agosto a fevereiro, com dois meses de estocagem já apresentava valores próximos a 34% de teor de umidade, mesmo apresentando teor de umidade inicial (na biomassa recém colhida) maior.

Portanto, a definição do uso imediato da biomassa após sua colheita ou a realização da estocagem também dependerá da época em que a biomassa permanecerá sob estocagem.

Composição química da madeira

Quando analisadas as espécies separadamente, a época de colheita apresentou influência sobre a solubilidade da madeira em água fria e água quente, e hidróxido de sódio, indicando que a composição e quantidade dos extrativos (componentes inorgânico, taninos, gomas, açúcares, compostos que dão cor à madeira e o amido) se alteraram em função da época de colheita da madeira (Tabela 3), concordando com Garstang *et al* (2002) e Swan, apud Fengel e Wegener (1989).

O *Eucalyptus dunnii* Maiden apresentou maior quantidade de metabólitos e substâncias extraí-

veis que o *Pinus taeda*, conforme indicado por Nurmi (1992), e teve maiores valores na primavera e no final do inverno, com diferenças significativas entre as épocas de verão e outono.

Já o *Pinus taeda* L. apresentou maior quantidade de metabólitos no verão e primavera, com diferenças significativas principalmente entre os extrativos registrados no verão (janeiro) e as outras épocas do ano, com exceção dos extrativos solúveis em água fria, que representam os sais minerais e açúcares livres presentes na madeira, sem considerar o amido, onde os valores observados no verão são similares aos observados no outono.

Porém, quando todos os resultados obtidos foram analisados conjuntamente, sem a distinção de espécie, não foram observadas variações significativas da época de colheita sobre a quantidade de extrativos solúveis em água fria e água quente, mantendo-se os maiores valores obtido na primavera.

Tanto os valores obtidos para água fria, quanto quente estão de acordo com os observados por Nurmi (1992) e foram superiores aos observados por Garstang *et al* (2002).

Já para o hidróxido de sódio houve variação entre as épocas de colheita, com maiores valores no início da primavera e menores valores no final do inverno.

Considerando a composição química da madeira, a melhor época de colheita foi a primavera. Nesta época a maior quantidade de componentes extrativos, contribui para o aumento do poder calorífico, que por sua vez é o indicador direto da qualidade energética da madeira.

Tabela 3. Valores médios da composição química (%) da biomassa florestal em função da época de colheita.
Table 3. Chemical composition (%) of forest biomass in relation to the harvest period.

Solubilidade em água fria	Outubro (2003)	Janeiro (2004)	Mai (2004)	Agosto (2004)
<i>Pinus taeda</i> L. com casca	2,14 b	2,17 a	2,50 ab	1,00 c
<i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden c/casca	3,65 a	2,70 b	3,41 a	3,48 a
Média (%)	2,90 a	2,71 a	2,96 a	2,24 a
Solubilidade em água quente	Outubro (2003)	Janeiro (2004)	Mai (2004)	Agosto (2004)
<i>Pinus taeda</i> L. com casca	3,33 b	4,21 a	2,26 c	2,33 c
<i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden c/casca	5,34 a	3,54 c	3,73 c	4,65 b
Média (%)	4,34 a	3,87a	3,00 a	3,49 a
Solubilidade em hidróxido de sódio	Outubro (2003)	Janeiro (2004)	Mai (2004)	Agosto (2004)
<i>Pinus taeda</i> L. com casca	16,03 b	17,07 a	13,40 c	10,46 d
<i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden c/casca	18,17 a	15,48 c	15,48 c	16,83 b
Média (%)	17,10 a	16,27 ab	14,44 ab	13,65 b

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre si (Tukey P > 0,05).

Poder calorífico

Com relação ao poder calorífico superior (Tabela 4), as análises estatísticas demonstraram variação significativa somente para o *Pinus taeda*, com valores maiores na primavera e verão e menores no outono e inverno. Porém, para efeitos práticos, as variações observadas entre as épocas de colheita não são importantes para a aplicação industrial, visto que nesta situação são consideráveis valores superiores a 300 kcal/kg.

Para *Eucalyptus* e para a biomassa de forma geral não houve variações em função da época de colheita (Tabela 4), confirmando que a

época de colheita não afeta o poder calorífico superior da biomassa florestal. Os valores encontrados no presente trabalho variaram desde 4462 kcal/kg na coleta feita na primavera até 4927 kcal/kg na coleta feita no verão (Figura 2), estando dentro dos valores observados por Thörnqvist e Gustafsson, apud Thörnqvist (1985), Thörnqvist (1986), Nurmi (1990, 1995) e Quirino *et al* (2004).

Apesar das diferenças entre os valores observados serem mínimas e pouco significativas, o poder calorífico superior apresentou a tendência inversa ao teor de umidade, e direta à solubili-

Tabela 4. Poder calorífico superior médio (kcal/kg) da biomassa florestal, em relação à época de colheita.
Table 4. Higher heating values (kcal/kg) of forest biomass in relation to the harvest period.

Época de colheita	Outubro (2003)	Janeiro (2004)	Mai (2004)	Agosto (2004)
<i>Pinus taeda</i> L. com casca	4796 ab	4867 a	4766 b	4722 b
<i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden c/casca	4494 a	4571 a	4544 a	4561 a
Média (kcal/kg)	4645 a	4719 a	4655 a	4641 a

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre si (Tukey P > 0,05).

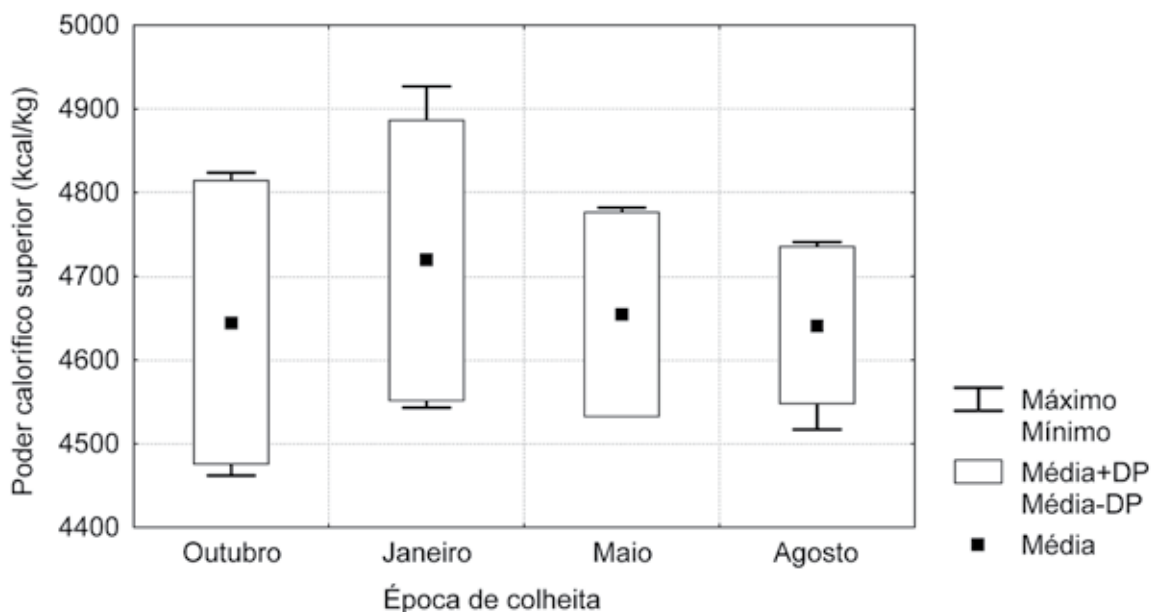


Figura 2. Variação do poder calorífico superior da biomassa florestal em função da época de colheita (2003/2004).
Figure 2. Variation of higher heating value of forest biomass in relation to the harvest period (2003/2004).

dade em água fria, quente e hidróxido de sódio. Assim, nas épocas de primavera e verão, os teores de umidade foram menores, a quantidade de extrativos e o poder calorífico superior foram maiores, demonstrando melhor qualidade da biomassa para geração de energia nestas épocas. Isso porque, a maior quantidade de açúcares, resinas, óleos, graxas, que caracterizam os extrativos, contribuem para o aumento do poder calorífico.

No entanto, para o poder calorífico líquido (Tabela 5), que tem estreita relação com o teor de umidade da biomassa, houve variação significativa entre as épocas de colheita, tanto dentro das espécies avaliadas quanto em termos gerais.

Para o *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Pinus taeda*, os valores mais altos foram obtidos em janeiro, que foi estatisticamente diferente de todas as demais épocas de colheita. Em termos gerais, as épocas de janeiro e outubro foram iguais. Os menores valores observados foram nas épocas de outono e inverno.

Considerando que em sistemas de co-geração a partir de biomassa, é desejado que o poder calorífico líquido seja de pelo menos 1900 kcal/kg, todos os valores estão abaixo do mínimo esperado, e, portanto, a biomassa deveria passar por um sistema de tratamento para melhorar suas condições energéticas, podendo ser estocagem ou secagem, antes da entrada na planta de geração de energia.

Os valores gerais para cada época de colheita, sem a distinção de espécie (Figura 3), variaram de 1195 kcal/kg (64 % de teor de umidade) na coleta feita no outono (maio) a 1842 kcal/kg (51 % de teor de umidade) na coleta feita no verão (janeiro), para teores de umidade entre 49 a 65 % de umidade. Com relação à variação nos resultados obtidos, outubro foi o mês em que os valores ficaram mais próximos, e em agosto houve a maior amplitude dos dados.

Estes valores estão de acordo com os valores obtidos por Brito e Barrichelo (1982), Brito (1986), que obtiveram valores de 2200 a 2500 kcal/kg, para 40 % de umidade. Nogueira e Lora (2003) e Teixeira e Lora (2004) mencionaram o valor de 1361 kcal/kg para um teor de umidade de 62 %. Lehtovaara (2004) obteve poder calorífico líquido de 1910 a 2508 kcal/kg para material com 45 % de umidade, 1700 a 2270 kcal/kg para material com 50 % de umidade, e 1194 a 1672 kcal/kg para material com 60 % de umidade.

Considerando o poder calorífico líquido, as melhores épocas de colheita são a primavera e o verão, coincidindo com o observado por pesquisadores na Europa (HEDING, 1984 e NURMI, 1995). Isso porque, nestas épocas o teor de umidade menor e os maiores valores de poder calorífico superior resultam em maiores ganhos energéticos, pelo aumento do poder calorífico líquido.

Tabela 5. Poder calorífico líquido médio (kcal/kg) da biomassa florestal, em relação à época de colheita.

Table 5. Net heating values (kcal/kg) of forest biomass in relation to the harvest period.

Época de colheita	Outubro (2003)	Janeiro (2004)	Maió (2004)	Agosto (2004)
<i>Pinus taeda</i> L. com casca	1657 b	1719 a	1201 d	1341 c
<i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden c/casca	1656 b	1828 a	1423 c	1677 b
Média (kcal/kg)	1657 ab	1774 a	1312 c	1509 b

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre si (Tukey P > 0,05).

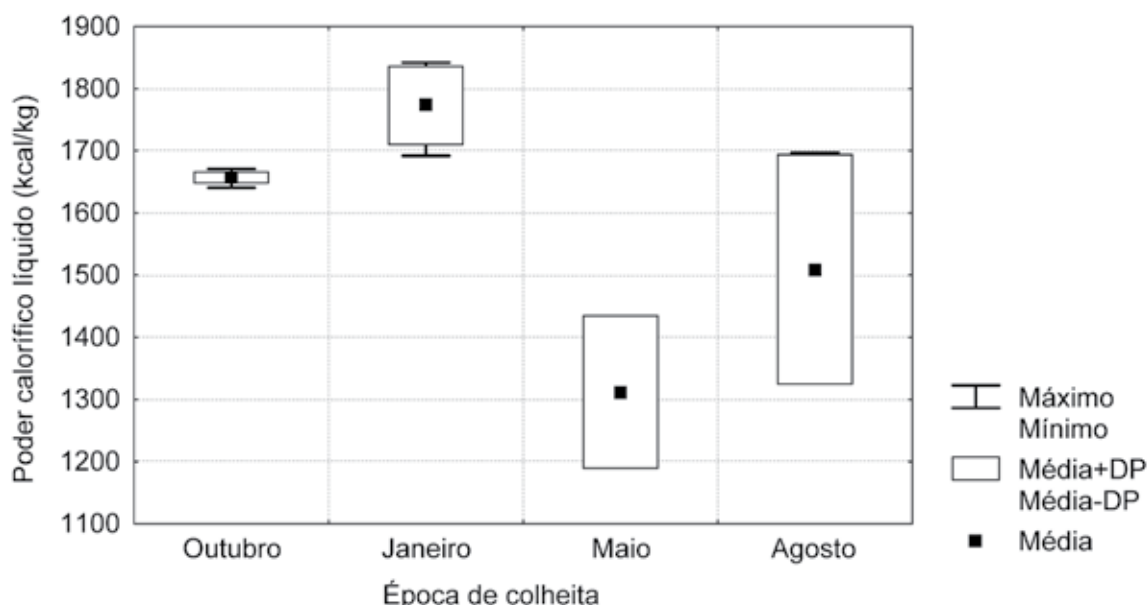


Figura 3. Variação do poder calorífico líquido da biomassa florestal em função da época de colheita (2003/2004).
Figure 3. Variation of lower calorific value of forest biomass in relation to the harvest period (2003/2004).

Teor de cinzas

Considerando cada espécie isoladamente, a data de colheita teve influência sobre os valores observados (Tabela 6). Para o *Pinus*, o maior valor observado foi em janeiro, mesma época em que foram registrados os maiores valores de solubilidade em água quente e hidróxido de sódio, sendo diferente estatisticamente das demais épocas de colheita. Já para o *Eucalyptus*, os maiores valores de teor de cinzas foram obtidos em outubro e agosto, onde também a quantidade de extrativos solubilizados foi maior. Evidentemente deve-se considerar que a maior parte dos extrativos são orgânicos, mas os componentes inorgânicos também são retirados da madeira nos processo de solubilização.

Na análise conjunta de todos os dados da biomassa (Figura 4), o teor de cinzas não apresentou variação em relação à época de colheita (Tabela 6). Porém, a exemplo do que ocorreu com os metabólitos presentes na madeira, o menor teor de cinzas observado, (0,33 %) foi em agosto e o maior (1,05 %) em outubro, tendo-se a tendência dos valores médios observados serem maiores na primavera e verão e os menores no inverno e outono, respectivamente (Figura 4).

Além disso, somente em janeiro e maio, os valores de teor de cinzas obtidos tiveram pouca variabilidade, sendo que em outubro e

agosto os dados tiveram grande variação nas amostras analisadas.

Os valores obtidos para *Pinus* e *Eucalyptus* avaliados de forma conjunta neste trabalho foram inferiores aos obtidos por Jirjis (2005) e Thörnqvist (1986), que trabalharam somente com espécies de folhosas, e mais próximos dos obtidos por Brito e Barrichelo (1982) que mencionou valores para espécies de *Eucalyptus*.

CONCLUSÕES

- A época de colheita teve influência sobre a qualidade da biomassa florestal para a geração de energia.
- Quando é considerada a espécie na análise, a época de colheita teve influência sobre todas as propriedades avaliadas, em maior proporção para a composição química e teor de cinzas e em menor intensidade sobre o teor de umidade e poder calorífico.
- Quando são avaliados os resultados de forma conjunta, sem considerar a espécie da biomassa, a época de colheita teve influência sobre o teor de umidade, solubilidade da madeira em hidróxido de sódio e poder calorífico líquido, não tendo influência sobre a solubilidade da madeira em água fria, quente, poder calorífico superior e teor de cinzas.

Tabela 6. Teor de cinzas médio (%) da biomassa florestal, em relação à época de colheita.

Table 6. Ash content (%) of forest biomass in relation to the harvest period.

Época de colheita	Outubro (2003)	Janeiro (2004)	Mai (2004)	Agosto (2004)
<i>Pinus taeda</i> L. com casca	0,41 c	0,56 a	0,48 b	0,35 d
<i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden c/casca	1,01 a	0,57 d	0,69 c	0,84 b
Média (%)	0,71a	0,57a	0,59a	0,59a

Nota: Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si (Tukey P > 0,05).

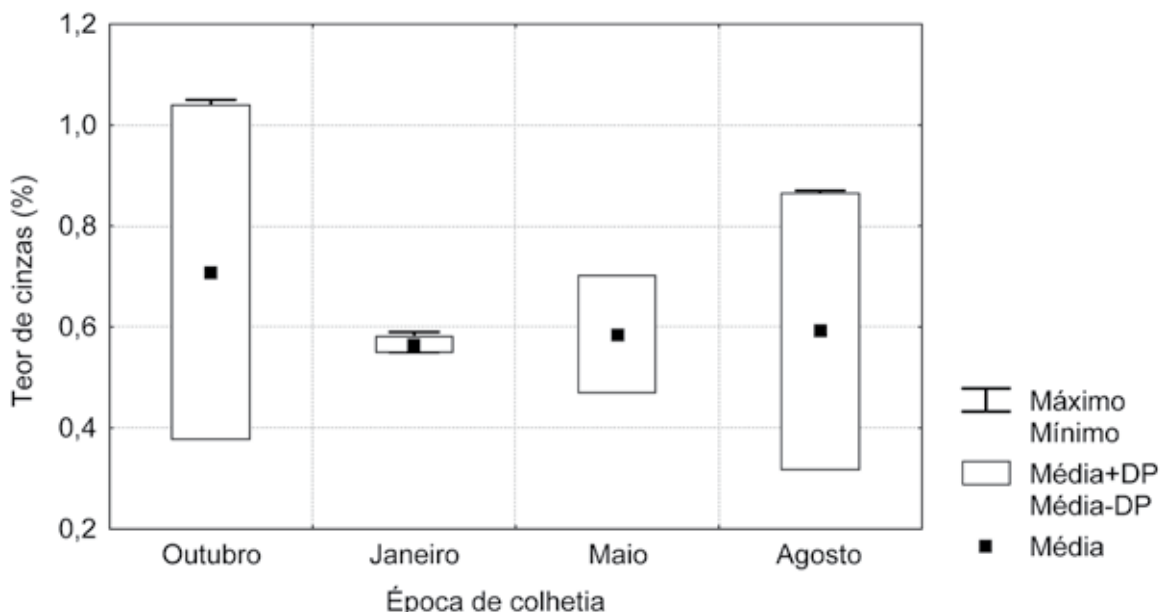


Figura 4. Variação do teor de cinzas da biomassa florestal em função da época de colheita (2003/2004).

Figure 4. Variation of ash content of forest biomass in relation to the harvest period (2003/2004).

- Nas épocas de primavera e verão, estações de crescimento das árvores, foram obtidos os menores teores de umidade; maiores poder calorífico líquido e a tendência de maiores valores de poder calorífico superior, quantidade de extrativos e teor de cinzas na madeira com casca.
- As melhores épocas para a colheita da biomassa para geração de energia foram a primavera e verão.
- O uso da biomassa para geração de energia nas condições de recém colhida não é recomendado em função dos elevados teores de umidade (próximo de 50%) e baixo poder calorífico líquido (inferior a 1900 kcal/kg).
- Para a melhoria da qualidade da biomassa para a geração de energia deve-se realizar o tratamento da mesma, através da estocagem ou secagem, objetivando a adequação das propriedades para maior eficiência de conversão da biomassa em energia.

AGRADECIMENTOS

Às empresas Battistella Indústria e Comércio Ltda; Klabin S.A. e Tractebel Energia S.A. pelo apoio financeiro e disponibilização de pessoal e madeira para a realização da pesquisa. À Universidade do Planalto Catarinense pela disponibilização dos laboratórios para a realização das análises.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, B.M.F.; ALMEIDA, E.D.L. **Biomassa: Produção e planejamento de energia elétrica**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2003. 23 p. Relatório técnico. Disponível em: <<http://thor.deec.uc.pt/~ppee/docs0203/biomassa.pdf>> Acesso em: 28.set. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14929: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa**. Rio de Janeiro, 2003.

BRAND, M.A.. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem**. 2007. 168p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

BRITO, J.O. Madeira para energia: - a verdadeira realidade do uso de recursos florestais. **Silvicultura**, São Paulo, v.11, Edição especial. p.188-193, 1986.

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2., 1982, São Paulo. **Anais...**São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 1982. p.101-137.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e. V. **DIN 51900: Determining the gross calorific value of solid and liquid fuels using the bomb calorimeter, and calculation of net calorific value**. Berlim, 2000.

EPAGRI. **Estação meteorológica Lages: Estação Experimental de Pesquisa Agropecuária de Lages**, 2006. Disponível em: <<http://www.epagri.sc.gov.br/>>.

FENGEL, D.; WEGENER, G. Wood. **Chemistry, Ultrastructure, reactions**. New York: de Gruyter, 1989. 613 p.

GARSTANG, J.; WEEKES, A.; POULTER, R.; BARTLETT, D. Identification and characterisation of factors affecting losses in the large-scale, non-ventilated bulkstorage of wood chips and development of best storage practices: FES B/W2/00716/RESP.DTI/Puburn02/1535, 2002. 116p. **Relatório técnico**. Disponível em: <http://www.biomassenergycentre.org.uk/pls/portal/docs/PAGE/BEC_TECHNICAL/BEST%20PRACTICE/LOSSES%20IN%20CHIP%20STORAGE%20FILE14947.PDF>. Acesso em 05 out. 2010.

HEDING, N. The critical moisture content. In: CONFERENCE HELD BY THE INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) – Forestry Energy Programme Group C – Storing, drying and internal handling of wood fuels, 1984, Denmark. **Proceedings...** Denmark: Danish Institute of Forest Technology, 1984. p.6–11.

JIRJIS, R. Effects of particle size and pile height on storage and fuel quality of comminuted *Salix viminalis*. **Biomass and Bioenergy**. v.28, p.193-201, 2005.

LEHTOVAARA, J. Calorific value – Status of the standardisation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE “STANDARDISATION OF SOLID BIOFUELS, 6-7., 2004, Leipzig, Germany. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.energetik-leipzig.de/BioNorm/conference.htm>> Acesso em: 10 out. 2005.

- MARTIN, F.M. **Otros aprovechamientos forestales.** Salamanca: Edita Fernando Martín Asín, 1997.
- NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações.** 2ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
- NURMI, J. The effect of whole-tree storage on the fuelwood properties of short-rotation *Salix crops*. **Biomass and Bioenergy**, v.8, n.4, p.245-249. 1995.
- NURMI, J. Measurement and evaluation of wood fuel. **Biomass and Bioenergy**, v.2, n.1-6, p.157-171. 1992.
- NURMI, J. Longterm storage of fuel chips in large piles. *Folia Forestalis*, n.767, p.1-18, 1990.
- QUIRINO, W.E.; VALE, A.T.; ANDRADE, A.P.A.; ABREU, V.L.S.; AZEREDO, A.C.S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa e Energia**, Viçosa, v.1, n.2. p.173-182. 2004.
- TECHNICAL ASSOCIATION FOR THE WOLDWIDE PULP, PAPER AND CONVERTING INDUSTRY. TAPPI standard Test Methods. **TAPPI 207: Water solubility of wood.** Atlanta, 1994a.
- TECHNICAL ASSOCIATION FOR THE WOLDWIDE PULP, PAPER AND CONVERTING INDUSTRY. TAPPI standard Test Methods. **TAPPI 211: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C.** Atlanta, 1994b.
- TECHNICAL ASSOCIATION FOR THE WOLDWIDE PULP, PAPER AND CONVERTING INDUSTRY. TAPPI standard Test Methods. **TAPPI 212: One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp.** Atlanta, 1994c.
- TEIXEIRA, F.N.; LORA, E.E.S. Suprimento energético para termelétricas. In: LORA, E.E.S.; NASCIMENTO, M.A.R. **Geração termelétrica: Planejamento, projeto e operação.** Rio de Janeiro: Interciência, 2004. v.1, cap.2, p.31-86.
- THÖRNQVIST, T. **Projekt storskalig säsongslagring av trädbränsle – en sammanfattning av etapp 1. Large-scale seasonal storage of tree fuel project – summary of phase 1.** Sweden: The Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Forest Products, 1986. 50p. (Report n° 188).
- THÖRNQVIST, T. Drying and storage of forest residues for energy production. **Biomass**, London, v.7, p.125-134, 1985.
- THÖRNQVIST, T. Storing of forest residues and comminuted fuels from forest residues. In: CONFERENCE HELD BY THE INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) – Forestry Energy Programme Group C – Storing, drying and internal handling of wood fuels, 1984, Denmark. **Proceedings...** Denmark: Danish Institute of Forest Technology, 1984. p.16-18.

Recebido em 04/03/2010
Aceito para publicação em 01/10/2010