

Quantificação dos resíduos da colheita em florestas de
Eucalyptus grandis e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*Quantification of harvest residues in *Eucalyptus grandis*
and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* forestsAna Lúcia Sodero Martins Pincelli¹, Luiz Fernando de Moura² e José Otávio Brito³**Resumo**

No cenário mundial atual, a busca por fontes de energia renováveis e menos poluentes que o petróleo tornou-se inevitável. O uso energético de biomassa renovável, incluindo os resíduos da colheita florestal, é extremamente importante devido, principalmente, a sua abundância, facilidade de provisão e baixo custo. Neste contexto, resíduos da colheita florestal de eucalipto e pinus foram quantificados, com o objetivo de dimensionar o potencial de disponibilidade estratégica destes resíduos para fins energéticos. A amostragem realizada no presente estudo indica que a massa dos resíduos da colheita corresponde a 6,0% e 13,2% da madeira produzida de eucalipto e pinus, respectivamente. Deste total, as culturas de eucalipto e pinus apresentam um percentual de resíduos lenhosos de 74,9% (6,1 t/ha) e 74,0% (11,0 t/ha), respectivamente. Estes resíduos convertidos em cavacos apresentam densidades a granel de 193 kg/m³, para eucalipto, e de 131 kg/m³, para pinus, que são compatíveis com aquelas observadas em cavacos de madeira já utilizados comercialmente. Nos ensaios granulométricos, as diferenças entre as espécies somente se expressaram para partículas com dimensão entre 4 e 8 mm. O tamanho médio das partículas foi semelhante para ambas as espécies (8,4 mm; agrupando-se as duas espécies). Este material lenhoso constitui uma oportunidade para aproveitamento energético a partir da colheita destas espécies tão importantes para a indústria florestal brasileira.

Palavras-chave: Colheita florestal, resíduos, eucalipto, pinus, energia.

Abstract

In the current global scenario, the search for renewable and less polluting energy sources, compared to petroleum, has become imperative. The use of renewable biomass for energy, including forest harvest residues, is extremely important, mainly due to its large availability, easy supply and low cost. In this context, residues of forest harvest were quantified in eucalyptus and pine crops, aiming at dimensioning the strategic potential of availability of these residues for energy purposes. The sampling adopted in this study indicates that the mass of forest harvest residues corresponds to 6.0% and 13.2% of wood produced in eucalyptus and pine crops, respectively. From this total, eucalyptus and pine crops contained a proportion of 74.9% (6.1 t/ha) and 74.0% (11.0 t/ha) of ligneous residues, respectively. These residues, when converted to chips, present bulk densities of 193 kg/m³, for eucalyptus, and 131 kg/m³, for pine, which are similar to those observed in commercially used wood chips. In particle size essays, the differences between species were only expressed in particles ranging within 4 and 8 mm. The mean size of particles was similar between species (8.4 mm; pooling both species). This ligneous material represents an opportunity for energy use from harvest of these so important species for the Brazilian forest industry.

Keywords: Forest harvest; residues; eucalyptus; pine; energy.

INTRODUÇÃO

Devido às crescentes preocupações ambientais, tornam-se indispensáveis ações para que as energias alternativas renováveis tenham participação significativa na matriz energética mundial. A motivação para esta mudança de postura é a necessidade de mitigar o uso de derivados do petróleo e, consequentemente, reduzir a dependência energética em relação aos países exportadores deste

¹Professora Associada. FATEC - Faculdade de Tecnologia de Capão Bonito, Centro Paula Souza. Rua Amantino de Oliveira Ramos, 60 - Terras de Embiruçu -18304755 - Capão Bonito, SP, Brasil.

²Pós Doutor. USP - Universidade de São Paulo /ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Av. Pádua Dias, 11 - 13418900 - Piracicaba, SP, Brasil.

³Professor Sênior do Departamento de Ciências Florestais. USP - Universidade de São Paulo /ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Av. Pádua Dias, 11 - 13418900 - Piracicaba, SP, Brasil.

combustível fóssil. Além disto, a redução no consumo de derivados de petróleo também diminui as emissões de gases do efeito estufa.

Diante deste quadro, a matriz energética mundial, baseada nos recursos energéticos não renováveis, vem sofrendo as consequências de profundas mudanças. Com a crise do petróleo em 1973/74 e em 1979/80, cresceu mundialmente o interesse no aproveitamento do potencial de outras fontes energéticas, dentre elas o carvão mineral, o gás natural e a madeira (BRITO; CINTRA, 2004).

No Brasil, em 2012, cerca de 42% da Oferta Interna de Energia (OIE) tinha origem de fontes renováveis, enquanto que no mundo esta taxa era de 13% (em 2011) e nos países desenvolvidos era de apenas 8% (em 2011) (EPE, 2013). De 2013 a 2015, a proporção de fontes renováveis na OIE brasileira manteve-se em 41% (EPE, 2014; 2016), o que indica relativa estabilidade na oferta desta modalidade de energia. Desta participação da energia renovável, 27% e 25% correspondiam à biomassa em 2012 e 2015, respectivamente (EPE, 2013; 2016), o que demonstra pouca oscilação no uso deste tipo de combustível ao longo dos últimos anos.

Uma parcela significativa da população mundial usa a madeira para suprir suas necessidades diárias de energia, seja para o aquecimento domiciliar ou para cocção de alimentos. No entanto, esta mesma população sofre a consequência de uma crescente escassez deste recurso devido a sua exploração desenfreada. No Brasil, a madeira é usada há muito tempo amplamente como fonte de energia, compreendendo o atendimento de demanda do setor industrial como do setor residencial, neste caso, sendo aplicada na cocção de alimentos e, em menor escala, para aquecimento doméstico (TEIXEIRA, 2011).

As indústrias do setor florestal geram um volume significativo de resíduos durante as diversas fases operacionais, que vão desde a colheita florestal até o produto final, podendo ser considerados como uma importante fonte de biomassa. Os resíduos gerados durante a colheita florestal são principalmente compostos de galhos, ponteiros, cascas e folhas.

Na colheita florestal, utiliza-se quase que exclusivamente o fuste denominado comercial, que vai da base da tora até um diâmetro mínimo pré-estabelecido. De acordo com Foelkel (2007), os maiores volumes de resíduos lenhosos estão contidos nos ponteiros, galhos grossos e árvores finas deixadas após a colheita. Esses valores correspondem a 2 a 8% do volume sólido total da madeira comercial do povoamento. Essa ampla faixa varia em função da qualidade da floresta, das especificações do diâmetro mínimo a colher, do equipamento usado na colheita e das habilidades e cuidados dos operadores das máquinas. O autor relata que a madeira perdida na colheita florestal pode estar na forma de: tocos altos das árvores colhidas; galhos grossos das copas das árvores colhidas (cerca de 3 m³/ha); ponteiros de fuste abaixo de um dado diâmetro pré-estabelecido (cerca de 9 m³/ha); árvores finas descartadas pelo operador da máquina de colheita (cerca de 5 m³/ha); toras perdidas, esquecidas ou largadas inadvertidamente no campo (1,6 m³/ha); e serragem gerada no abate da árvore e corte das toras. Este volume pode ser destinado à geração de energia. No entanto, há situações em que é tão difícil retirar o resíduo, que o trabalhador florestal opta por deixá-lo no campo. As perdas de madeira de difícil coleta ou recolhimento podem representar entre 0,5 a 1,5% do volume produzido pelo povoamento.

Os galhos e os ponteiros das árvores são deixados no campo como resíduos, podendo representar até 20% da madeira existente na floresta (BRITO, 1996). Uma estimativa realizada na colheita de toras de caixeta (*Tabebuia cassinoides*) com no mínimo 12 cm de diâmetro, no Estado de São Paulo, comprovou que somente 33% da madeira foram aproveitados (NOLASCO, 2000).

Schumacher *et al.* (2002), avaliando o acúmulo de biomassa após colheita em povoamento de *Pinus taeda* com 20 anos de idade, quantificaram 10,9 t/ha de casca, 47,7 t/ha de galhos e 8 t/ha de acículas, o que representa um montante total de 24,7% de resíduos em comparação ao total de biomassa produzida. Já Copetti (2001) relata a proporção de 31% de resíduos totais, em relação à produção total de biomassa, na colheita em talhões de *Pinus taeda*, sendo 18% de galhos, 7% de casca e 6% de acículas. Para colheita de *Pinus taeda* com 15 anos de idade, Marcio (2013) relata uma produção média de 93 t/ha de resíduos.

Para eucalipto, as quantidades de resíduos de colheita registradas na literatura costumam ser bem menores que aquelas relatadas para pinus. Uma quantificação dos resíduos resultantes da colheita mecanizada de toras de *Eucalyptus grandis* com diâmetro acima de 6 cm, com "Slingshot" e "Forwarder", resultou em 16 m³/ha de madeira desperdiçada (4,5% do total) (BAUER, 2001). Couto *et al.* (1984) realizaram a quantificação de resíduos florestais para a produção de energia em povoamento de *Eucalypt-*

tus saligna, constando de folhas, galhos, ponteiro da árvore e árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) abaixo de 6 cm. Esses autores observaram que o potencial energético do povoamento estudado foi de 21,3 toneladas equivalentes de óleo combustível por hectare, o que viabilizaria investimentos para o uso desta biomassa para fins energéticos. Castro (2014), avaliando floresta de híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 79 meses de idade, quantificou um montante de 17,03 t/ha (11,67%) de resíduos gerados por ocasião da colheita, que podem ser aproveitados para fins energéticos.

Tendo em vista o cenário florestal brasileiro em franca expansão, contando com um parque florestal contabilizado em 5,6 e 1,6 milhões de hectares em 2015 com a silvicultura de eucaliptos e pinus, respectivamente (IBÁ, 2016), é possível inferir sobre o grande potencial estratégico de fornecimento de energia contido nos resíduos de colheitas florestais neste país. Neste contexto, objetivo do presente trabalho foi quantificar os resíduos das operações de colheita florestal em povoamentos de eucalipto e pinus, visando subsidiar o conhecimento sobre o potencial de suprimento deste material para fins energéticos.

MATERIAL E MÉTODOS

Material

O delineamento experimental foi elaborado de forma a quantificar os resíduos gerados durante a colheita de madeira realizada em plantações florestais da empresa Duratex (Duraflora S.A.), localizadas na região de Lençóis Paulista - SP. Para o estudo em questão, foram avaliadas as espécies de *Eucalyptus grandis*, segunda rotação, com 7 anos de idade, e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com 11 anos de idade.

A colheita do eucalipto seguiu as seguintes etapas: derrubada das árvores com o uso de *feller buncher*, traçamento da madeira com o uso de cabeçote processador e baldeio de toras com o uso de *forwarder*. Com relação ao pinus, o sistema de colheita adotado envolveu as seguintes etapas: derrubada das árvores e processamento da madeira com o uso de *harvester* e baldeio de toras com o uso de *forwarder*.

Os resíduos da colheita de eucalipto foram coletados 60 dias após a retirada da madeira. No caso do pinus, o tempo de permanência em campo foi de 35 dias.

Amostragem

A amostragem dos resíduos de eucalipto abrangeu uma área de 31,9 hectares (espaçamento de 3,0 x 2,0 m), onde foram demarcadas, aleatoriamente, cinco parcelas nas dimensões de 24,0 x 8,3 m (200 m²), eliminando-se o efeito de borda. O talhão de pinus previamente escolhido correspondeu a uma área de 50 hectares (espaçamento de 3,0 x 1,6 m), onde foram selecionadas, aleatoriamente, quatro parcelas nas dimensões de 24,0 x 4,2 m (100 m²), eliminando-se também o efeito de borda.

Tanto os resíduos de eucalipto quanto de pinus foram coletados manualmente, compreendendo, primordialmente, ponteiros, galhos, folhas (eucalipto), acículas (pinus) e cascas soltas (Figura 1).



Figura 1. Coleta de resíduos gerados da colheita de madeira de eucalipto (A) e pinus (B).
Figure 1. Collection of harvest residues generated from eucalyptus (A) and pine (B) crops.

Pesagem e picagem do material

A pesagem dos materiais foi adotada para determinação da quantidade de resíduos gerados por hectare. Os materiais foram pesados em balança com carga máxima de 330 kg.

Após a pesagem, todos os materiais foram processados em picador a tambor Demuth - Modelo DPF 130/300 2 RT. Os resíduos foram embalados em "big bags", sendo então conduzidos para o Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, onde foram armazenados em barracão sob abrigo do sol e chuva em ambiente com livre circulação de ar.

Determinação do teor de umidade

Alíquotas foram obtidas para a determinação do teor de umidade do material, expressa em porcentagem, calculada como a relação entre o seu peso úmido corrente e o seu peso após secagem em estufa a 103 ± 2 °C, até que este atingisse um valor constante, como mostra a Equação 1:

$$U = [(Pu - Ps) / Ps] * 100 \quad (1)$$

Em que: U é o teor de umidade (%), Pu é o peso úmido (g) e Ps é o peso seco (g).

Determinação da proporção dos componentes

As mesmas alíquotas utilizadas para a determinação do teor de umidade também foram submetidas à classificação (madeira com casa, casca solta, folha e acícula), mediante inspeção visual e separação manual. Esta operação permitiu quantificar as proporções de cada componente dos resíduos, para cada uma das espécies avaliadas. Para o eucalipto, as cascas soltas foram reunidas no cálculo percentual juntamente com as folhas, dada a dificuldade para suas separações e quantificação.

Determinação da densidade a granel

A densidade do material a granel foi determinada conforme a norma NBR 6922 (ABNT, 1981). Esta norma prescreve o método para determinação da massa específica dos resíduos como recebidos em laboratório. Para possibilitar a comparação entre as duas espécies estudadas, os valores de densidade a granel foram corrigidos para uma mesma base de teor de umidade de 10%.

Determinação da granulometria

A granulometria do material foi determinada conforme a norma NBR 7402 (ABNT, 1982). Esta norma prescreve o método da passagem dos resíduos em conjunto de peneiras com diferentes granulometrias. Calculou-se a quantidade percentual de material retido em cada uma delas e o tamanho médio de suas partículas, mediante o uso de equipamento e procedimento sugeridos pela norma.

Análise estatística

Para as comparações entre médias de diferentes espécies, foi aplicado o Teste t de Student, ao nível de 5% de significância. A dispersão em torno das médias foi representada por meio do coeficiente de variação (CV%), calculado pela relação percentual entre o desvio padrão e a média.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, são apresentados os valores estimados referentes à quantidade de resíduos gerados durante a colheita de madeira em povoamentos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, por hectare e por árvore, além dos teores de umidade e densidades a granel dos resíduos convertidos em cavacos.

A quantidade de resíduos apurada após a colheita de *Eucalyptus grandis* neste trabalho, estimada em 6,0% da produção total de biomassa, está compatível com aquelas relatadas por Bauer (2001) (4,5% da produção total) e Foelkel (2007) (2 a 8% da produção total). No entanto, a proporção de resíduos de colheita de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, estimada em 13,2% da produção total de biomassa, encontra-se abaixo daquelas previamente relatadas por outros autores, que variam entre 24,7% e 31% da produção total de biomassa (COPETTI, 2001; SCHUMACHER *et al.* 2002), atingindo valores absolutos de 93 t/ha (MARCIO, 2013).

Tabela 1. Estimativa da quantidade de resíduos de colheita gerados por unidade de área e por árvore, teor de umidade e densidade a granel, para as culturas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Table 1. Estimates of the amount of harvest residues generated per unit area and per tree, moisture content, and bulk density for *Eucalyptus grandis* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* crops.

Espécie	Peso de resíduos ¹		Proporção da produção (%)	Teor de umidade ⁴ (%)	Densidade a granel ⁵ (kg/m ³)
	(t/ha)	(kg/árvore)			
Eucalipto	8,2 b (17%)	4,9 b	6,0 ² b	10,4 b (4%)	193 a (4%)
Pinus	14,9 a (38%)	7,5 a	13,2 ³ a	15,8 a (11%)	131 b (3%)

¹ Médias de 5 repetições para eucalipto e 4 repetições para pinus

² Considerando-se produtividade de 136,4 t/ha para eucalipto aos 7 anos

³ Considerando-se produtividade de 112,7 t/ha para pinus aos 11 anos

⁴ Médias de 10 repetições

⁵ Médias de 5 repetições. Os valores de densidade a granel foram corrigidos para uma mesma base de teor de umidade de 10%, para efeito comparativo.

Valores entre parênteses são Coeficientes de variação das médias (CV%). Letras minúsculas na mesma coluna indicam comparações entre médias de diferentes espécies: médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de significância (Teste t de Student).

Conforme tendência já observada na literatura, os resultados indicaram a presença de quantidade significativamente maior de resíduos de pinus por hectare (14,9 t/ha), comparada aos obtidos com eucalipto (8,2 t/ha). Este resultado pode ser explicado pela maior quantidade de resíduos obtidos por árvore de pinus (7,5 kg/árvore) comparado ao eucalipto (4,9 kg/árvore), eliminando-se dessa forma o efeito do espaçamento. No caso do pinus, foi possível constatar-se, visualmente, a maior presença de resíduos com maiores dimensões antes da picagem, como galhos grossos e pedaços de fuste. Esse fato foi decorrência da própria característica da madeira de pinus, que tem a tendência de se quebrar com maior facilidade durante a operação de derrubada da árvore, quando comparada ao eucalipto. Com isso, foram geradas peças de madeira que não atendiam às exigências dimensionais da matéria-prima para a fabricação de MDF e chapa de fibra, sendo então consideradas como resíduos.

Embora a densidade aparente da madeira de eucalipto (0,42 g/cm³) tenha sido semelhante à de pinus (0,44 g/cm³), os resíduos de eucalipto foram significativamente mais densos a granel (193 kg/m³) que aqueles de pinus (131 kg/m³). Para efeito comparativo, menciona-se o trabalho de Pedrazzi et al. (2010), que indica um valor de 186 kg/m³ para a densidade a granel de cavacos de *Eucalyptus* sp. Analisando resíduos de colheita florestal, Leinonen (2004) relata valores de densidade a granel variando entre 130 e 180 kg/m³, para teores de umidade variando entre 30% e 50%. Calegari et al. (2005) relatam densidades a granel de 164 kg/m³ (base seca), para resíduos de colheita de *Eucalyptus* spp., e de 194 kg/m³ (base seca), para cavacos de *Pinus* spp. Desse modo, os resultados de densidade a granel dos resíduos de colheita obtidos neste trabalho estão compatíveis com a escala observada em cavacos de madeira já utilizados comercialmente. Portanto, no quesito densidade a granel, seriam válidas as mesmas considerações quanto da aplicação destes materiais no campo energético.

Os resultados da distribuição granulométrica, assim como do cálculo do tamanho médio das partículas dos resíduos de eucalipto e de pinus, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Análise granulométrica e tamanho médio (TM) dos resíduos da colheita de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Table 2. Granulometric analysis and mean size (TM) of *Eucalyptus grandis* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* harvest residues.

Espécie	Abertura da malha da peneira (mm)				TM ¹ (mm)
	16	8	4	< 4	
	Porcentagem do retido ² (%)				
Eucalipto	55,5 a (16,4)	16,5 a (28,6)	16,4 a (20,6)	11,7 a (13,6)	8,2 a (4,1)
Pinus	63,7 a (6,9)	14,6 a (29,2)	11,5 b (9,7)	10,1 a (14,0)	8,6 a (1,4)

¹ TM: tamanho médio

² Médias de 5 repetições

Valores entre parênteses são Coeficientes de variação das médias (CV%). Letras minúsculas na mesma coluna indicam comparações entre médias de diferentes espécies: médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de significância (Teste t de Student).

Os resíduos de eucalipto e pinus apresentaram comportamentos levemente distintos nos ensaios granulométricos, devido às próprias características originais da espécie (densidade, tipo de casca etc.). Embora esta distinção tenha sido leve, expressou-se estatisticamente para partículas com dimensão entre 4 e 8 mm, conforme mostra a Tabela 2. Para esta classe de dimensão, a proporção de cavacos foi de 16,4% e 11,5%, para eucalipto e pinus, respectivamente.

Para resíduos de eucalipto, 56% dos materiais ficaram retidos na primeira peneira, ou seja, a de maior malha, com abertura de 16 mm. Esta retenção se deu, principalmente, devido à presença de casca que, formando emaranhados, impedia que as partículas de menores dimensões passassem para as peneiras subsequentes. Em relação aos resíduos de pinus, observou-se também que a maior porcentagem de retenção de material ocorreu na peneira de abertura de malha 16 mm (63,7%). Em se tratando do tamanho médio das partículas, com relação ao ensaio granulométrico, os resultados indicaram valores estatisticamente similares para ambas as espécies, com tamanho médio de 8,4 mm (agrupando-se as duas espécies).

Os resultados da quantificação dos componentes dos resíduos, separando-se as frações referentes à madeira com casca, casca solta, folha (eucalipto) e acícula (pinus), são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Quantificação percentual dos componentes dos resíduos da colheita florestal de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Table 3. Percent quantification of components of *Eucalyptus grandis* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* harvest residues.

Espécie	Madeira com casca	Casca solta	Folha ou acícula
		(%) ¹	
Eucalipto ²	74,9 a (20,5)	-	25,1 (34,6)
Pinus	74,0 a (18,9)	8,6 (42,3)	17,4 (18,6)

¹ Médias de 5 repetições para eucalipto e 4 repetições para pinus

² Para o eucalipto, as cascas soltas foram reunidas no cálculo porcentual juntamente com as folhas, dada a dificuldade para suas separações e quantificação. Neste contexto, não foi realizada a comparação estatística para estes itens.

Valores entre parênteses são Coeficientes de variação das médias (CV%).

Letras minúsculas na mesma coluna indicam comparações entre médias de diferentes espécies: médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de significância (Teste t de Student).

Na composição dos materiais estudados, observa-se que, para ambas as espécies, aproximadamente 75% dos componentes são representados pela madeira com casca, ou seja, resíduo lenhoso com potencial energético; enquanto que aproximadamente 25% de suas composições correspondem às demais frações como cascas soltas, folhas ou acículas e demais materiais finos, que devem preferencialmente permanecer no campo, visando aprimorar a ciclagem de nutrientes. A proporção de resíduos lenhosos obtida neste trabalho é comparável àquela de Schumacher *et al.* (2002), estimada em 72%, e superior àquela relatada por Copetti (2001), de 58%.

No caso do pinus, ressalta-se a presença de 17,4% da massa composta somente de acículas. Para o eucalipto, é importante comentar que as folhas e cascas soltas somaram juntas 25,1%, sendo a grande maioria dessa composição representada pela casca. Portanto, foram constatadas as seguintes diferenças nos componentes dos resíduos das duas espécies: ocorrência não significativa de cascas soltas para eucalipto, ao contrário do que se observa em pinus, e presença das acículas em pinus. A maior presença de cascas nos resíduos de pinus, comparado aos resíduos de eucalipto, pode ter contribuído para a menor densidade a granel da conífera, comparado à folhosa. Isto se deve ao fato de que a casca costuma ser menos densa que a madeira.

Durante o manuseio dos resíduos de eucalipto, houve perdas de quantidades significativas de folhas. No entanto, este aspecto não afeta a quantificação dos resíduos para fins energéticos, que devem ser restritos àqueles de natureza lenhosa (i.e. excluindo folhas, acículas e cascas, que devem preferencialmente ser mantidas em campo, para favorecer a ciclagem adequada de nutrientes).

Portanto, de acordo com os percentuais de madeira com ou sem casca apresentados na Tabela 3, pode-se assumir a permanência no campo de cerca de 6,1 t/ha e 11,0 t/ha de resíduos lenhosos após a colheita madeireira nas culturas de eucalipto e pinus, respectivamente. Isto representa anualmente uma reserva nacional estratégica de biomassa para energia estimada em 4,9 milhões de toneladas

de resíduos lenhosos na cultura de eucalipto (considerando ciclo de 7 anos) e de 1,5 milhões de toneladas na cultura de pinus (considerando ciclo de 12 anos), tendo em vista a área de plantações no país em 2015, contabilizada por IBÁ (2016).

CONCLUSÕES

Os resíduos lenhosos originados nos processos de colheita de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* correspondem a uma porcentagem considerável da biomassa madeireira total produzida nestas culturas (6,0% para eucalipto; 13,2% para pinus), podendo representar uma importante reserva estratégica de bioenergia em nível nacional, estimada em 6,4 milhões de toneladas ao ano.

No presente estudo, a colheita de pinus gerou maior massa absoluta de resíduos lenhosos (11,0 t/ha), em comparação àquela obtida na colheita do eucalipto (6,1 t/ha).

Os resíduos da colheita do eucalipto foram significativamente mais densos a granel (193 kg/m³) que aqueles de pinus (131 kg/m³), considerando-se uma mesma base de teor de umidade de 10%. A densidade a granel dos resíduos estudados é semelhante àquelas observadas em cavacos de madeira já utilizados comercialmente, cujas densidades relatadas na literatura variam entre 130 e 194 kg/m³. Portanto, com relação à densidade a granel, podem ser aplicados os sistemas tradicionais de aproveitamento energético. Não foram constatadas diferenças entre espécies no que se refere ao tamanho médio das partículas dos resíduos convertidos em cavacos, tendo sido obtido um tamanho médio de 8,4 mm (agrupando-se as duas espécies).

As principais diferenças observadas nos componentes dos resíduos de colheita das duas espécies foram: ocorrência não significativa de cascas soltas para eucalipto, ao contrário do que se observa em pinus, e a presença das acículas em pinus. A proporção de resíduos lenhosos com potencial energético representa cerca de 75% do total de resíduos gerados na colheita de ambas as espécies, sendo fortemente recomendável a manutenção das frações de cascas, folhas e acículas em campo, visando favorecer a ciclagem de nutrientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7402: carvão vegetal - determinação granulométrica. Rio de Janeiro, 1982. 5 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6922: carvão vegetal - ensaios físicos - determinação da massa específica (densidade a granel). Rio de Janeiro, 1981. 2 p.

BAUER, S. R. T. Resíduos da exploração florestal de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden para geração de energia elétrica. 2001. 54 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2001.

BRITO, E. O. Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação. *Revista Floresta*, Curitiba, v. 4, n. 26, p. 34-39, 1996.

BRITO, J. O.; CINTRA, T. C. Madeira para energia no Brasil: realidade, visão estratégia e demandas de ações. *Biomassa & Energia*, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 157-163, 2004.

CALEGARI, L.; FOELKEL, C. E. B.; HASELEIN, C. R.; ANDRADE, J. L. S.; SILVEIRA, P.; SANTINI, E. J. Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no sul do Brasil. *Biomassa & Energia*, Viçosa, v. 2, n. 1, p. 37-46, 2005.

CASTRO, A. F. N. M. Potencial dos resíduos florestais e dos gases da carbonização da madeira para geração de energia elétrica. 2014. 110 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

COPETTI, L. **Produção e distribuição da biomassa em povoamento de *Pinus taeda* L, aos 18 anos de idade, na região de Cambará do Sul-RS.** 2001. 26 p. Relatório (Estágio Supervisionado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

COUTO, H. T. Z.; BRITO, J. O.; TOMAZELLO FILHO, M.; CORRADINI, L.; FAZZIO, E. C. M. Quantificação de resíduos florestais para produção de energia em povoamento de *Eucalyptus saligna*. **Revista IPEF**, Piracicaba, n. 16, p. 19-23, 1984.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2016:** Relatório Síntese - ano base 2015. Rio de Janeiro, 2016. 62 p.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2014:** ano base 2013. Rio de Janeiro, 2014. 288 p.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2013:** ano base 2012. Rio de Janeiro, 2013. 284 p.

FOELKEL, C. Gestão ecoeficiente dos resíduos florestais lenhosos da eucaliptocultura. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**, 2007, 48 p. Disponível em: < http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT07_residuoslenhosos.pdf >. Acesso em 20 dez. 2015.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Anuário 2016:** ano base 2015. São Pauli: Ibá, 2016. 100 p.

LEINONEN, A. **Harvesting Technology of Forest residues for fuel in the USA and Finland.** Espoo, Finlândia: VTT, 2004. 132 p.

MARCIO, J. A. **Levantamento do volume gerado e valor monetário da biomassa de resíduos florestais da KLABIN S/A – SC.** 2013. 29 p. Relatório (Estágio Supervisionado, do Curso de Engenharia de Produção) – Universidade do Planalto Catarinense – Universidade de Planalto Catarinense, Lages, 2013.

NOLASCO, A. M. **Resíduos da colheita e beneficiamento da caixeta - *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC.: caracterização e perspectivas.** 2000. 171 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

PEDRAZZI, C.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; MUGUET, M. C. S.; GOMIDE, J. L. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de polpas produzidas por novas sequências de branqueamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 123-135, 2010.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F. Estoque de carbono em florestas de *Pinus taeda* L. e *Acacia Mearnsii* De Wild. plantadas no Estado do Rio Grande do Sul. **As florestas e o Carbono.** Curitiba: UFPR, p. 141-152, 2002.

TEIXEIRA, D. **Estado de la información sobre madera para energia.** 2011. Disponível em: < <http://www.fao.org/docrep/006/ad399s/AD399s07.htm> >. Acesso em: 03 abr. 2016.

Recebido em 24/03/2016

Aceito para publicação em 04/05/2017