

DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A PARTIR DE *Eucalyptus benthamii*

Daniela Letícia Nones¹, Martha Andreia Brand¹, Alexsandro Bayestorff da Cunha¹,
Adriel Furtado de Carvalho¹, Solange Maria Krug Weise²

¹Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Florestal, Lages, Santa Catarina, Brasil - dani_nones@hotmail.com; 2mab@cav.udesc.br; a2abc@cav.udesc.br; adrielfurtado@yahoo.com.br

²Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, Santa Catarina, Brasil - smk.rcw@gmail.com

Recebido para publicação: 10/12/2012 – Aceito para publicação: 12/08/2014

Resumo

Este trabalho teve como objetivo caracterizar energeticamente a madeira e o carvão vegetal obtidos a partir da espécie *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage para duas diferentes idades, 5 e 13 anos. Para a madeira de cada idade, foram confeccionados 48 corpos de prova, com aproximadamente 2 x 2 x 2 cm, que foram utilizados para determinação da massa específica, poder calorífico superior, análise química imediata e carbonização. Após a carbonização, as propriedades energéticas do carvão vegetal foram avaliadas a partir da massa específica aparente, rendimento gravimétrico e volumétrico, poder calorífico superior e análise química imediata. Tanto para a madeira quanto para o carvão vegetal houve influência da idade. A madeira com 13 anos apresentou maior massa específica básica e maior poder calorífico. Porém as diferenças nas propriedades físicas e energéticas da madeira das duas idades não justificam a manutenção da floresta até os 13 anos de idade, quando seu uso final é a geração de energia na forma de carvão. Em relação ao carvão, aquele produzido com madeira de 13 anos apresentou maior rendimento, enquanto o carvão vegetal de 5 anos apresentou melhor qualidade final para uso energético.

Palavras-chave: Energia de biomassa; propriedades energéticas; eucalipto.

Abstract

Determination of energetic properties of wood and charcoal produced from Eucalyptus benthamii. This research aimed to characterize the energetic properties of wood and charcoal obtained from *Eucalyptus benthamii* for two different ages, 5 and 13 years. For each timber age, we prepared 48 specimens, approximately 2 x 2 x 2 cm, used to determine specific gravity, calorific value, immediate analysis and carbonization. After carbonization, we evaluated the energetic properties of the charcoal in relation to density, gravimetric and volumetric yield, calorific value and immediate chemical analysis. As the wood as charcoal were influenced by age. The 13 years old timber revealed higher specific gravity and higher calorific value. However, the differences in the physical and energetic properties of the wood of the two ages do not justify maintaining the forest until the age of 13, as its end use is generation of energy as coal. The charcoal produced from 13 years old trees had the highest yield, while the charcoal from 5 years old trees had better quality to energy usage.

Keywords: Biomass energy; energy properties; *Eucalyptus*.

INTRODUÇÃO

A região Sul do Brasil caracteriza-se por apresentar baixas temperaturas e ser um local com geadas frequentes durante a estação fria. Esse é um dos principais fatores limitantes para a sobrevivência e crescimento do gênero *Eucalyptus* na região (LIMA *et al.*, 2007). Apesar disso, de acordo com Neves *et al.* (2011), várias espécies do gênero *Eucalyptus* se adaptaram muito bem às condições edafoclimáticas das diferentes regiões do Brasil e passaram a ser importantes fornecedoras de matérias-primas para a produção de lenha, carvão vegetal, celulose e papel.

Santos (1987) afirma que o *Eucalyptus* é umas das melhores opções para a produção de carvão, em função da sua rusticidade, produtividade e características da madeira. Mora e Garcia (2000) também destacam as características silviculturais e físico-químicas da madeira desse gênero, salientando que essa matéria-prima tem sido amplamente utilizada para a produção de lenha e carvão vegetal, substituindo significativamente a utilização de madeiras provenientes de florestas nativas.

Quando planejados e manejados de forma adequada, os reflorestamentos de *Eucalyptus* produzem árvores de tronco retilíneo e uniformes e madeira com massa específica adequada para a obtenção de carvão de boa qualidade (PINHEIRO *et al.*, 2006).

De acordo com Neves *et al.* (2011), características como o incremento volumétrico da árvore podem influenciar significativamente a produção e qualidade do carvão, visto que afetam diretamente a quantidade de massa seca produzida pelo indivíduo. Do mesmo modo, a qualidade e a quantidade do carvão vegetal sofrerão significativa modificação em relação à madeira de origem, pois esse produto está intimamente relacionado com as características químicas, anatômicas e físicas da madeira (TRUGILHO *et al.*, 2005).

Na região serrana de Santa Catarina, o *Eucalyptus dunnii* é uma espécie tradicionalmente empregada em plantios comerciais, por possuir características que se adaptam a esse padrão climático. No entanto, considera-se arriscado ter uma base florestal com apenas uma espécie, em função do aparecimento de pragas e doenças ou fatores climáticos que podem culminar no desaparecimento da espécie na região. Portanto, a inserção de diferentes espécies em plantios comerciais faz-se necessária.

Segundo Lima *et al.* (2007), o *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage tem se mostrado uma espécie potencial para o uso energético no Sul do Brasil, especialmente para regiões de ocorrência de geadas severas. Nos últimos anos, tem-se constatado no Planalto Serrano Catarinense uma grande expansão das áreas de produção de *Eucalyptus benthamii*, sendo superior à expansão observada para outras espécies do mesmo gênero na região (MÜLLER, 2013).

Apesar disso, os estudos sobre a qualidade da espécie para o uso múltiplo, sendo um deles a geração de energia a partir do carvão vegetal, ainda são poucos. Segundo Müller (2013), até o momento os principais trabalhos realizados a respeito da sua utilização estão basicamente relacionados ao seu uso potencial na indústria de papel e celulose.

Em relação a isso, a hipótese deste trabalho é que a madeira de *Eucalyptus benthamii* pode ser aplicada para a produção de carvão vegetal, tendo boa qualidade e podendo ser superior a outras espécies já utilizadas, permitindo assim o uso múltiplo das florestas já estabelecidas, que atualmente são destinadas em sua maioria para a produção de papel e celulose.

Dessa forma, o trabalho pretende contribuir para a caracterização das propriedades energéticas da madeira e do carvão obtidos a partir da espécie *Eucalyptus benthamii* para duas diferentes idades, 5 e 13 anos.

MATERIAL E MÉTODOS

A espécie estudada foi *Eucalyptus benthamii*, com duas diferentes idades, 5 e 13 anos.

As árvores com idade de 5 anos foram coletadas de um povoamento com espaçamento de 2,5 x 2 m, que havia sido submetido a um desbaste com intensidade de 20%. A floresta é de propriedade da empresa Floko Florestadora Koeche Ltda. e localiza-se no distrito de São Jorge, na cidade de Cerro Negro, SC. As toras foram convertidas em tábuas com uma polegada de espessura.

Foram selecionadas dez tábuas de forma aleatória, apenas garantindo que a amostra geral fosse composta por tábuas de diferentes larguras. Com as tábuas selecionadas, foram confeccionados 48 corpos de prova com aproximadamente 2 x 2 x 2 cm, para a caracterização energética da madeira de *Eucalyptus benthamii*. Eles foram divididos em 4 grupos de 12 amostras, para realizar as seguintes análises: teor de umidade na base úmida, determinação da massa específica básica e moagem (para determinação da porcentagem de voláteis, porcentagem de carbono fixo, teor de cinzas e poder calorífico da madeira). O último grupo de amostras foi destinado à carbonização, para posterior caracterização energética do carvão obtido.

As árvores com 13 anos foram provenientes de plantios experimentais localizados na cidade de Palmeira, SC, da empresa Klabin S.A. Os corpos de prova foram confeccionados a partir de tábuas com aproximadamente uma polegada de espessura, retiradas da primeira tora das árvores. Foram confeccionados 48 corpos de prova, divididos em 4 grupos de 12 amostras, para realizar as mesmas análises citadas anteriormente para a idade de 5 anos.

A análise das propriedades físicas e energéticas da madeira consistiu na determinação da massa específica básica, conforme NBR 11491 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2003), teor de cinzas, porcentagem de carbono fixo e porcentagem de voláteis, através da análise imediata em termobalança gravimétrica (TGA), conforme a norma ASTM 1762 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2007) e o poder calorífico, de acordo com a norma DIN 51900 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2000).

Para análise das propriedades físicas e energéticas do carvão, foi realizado o procedimento de carbonização em laboratório. Para cada idade, foram utilizados 12 corpos de prova com dimensões aproximadas de 2 x 2 x 2 cm. As amostras foram pesadas e medidas antes da carbonização, para a determinação da massa específica aparente. Posteriormente, os corpos de prova foram envolvidos com papel alumínio, identificados e colocados em mufla, para carbonização, conforme rampa de aquecimento visualizada na tabela 1.

Tabela 1. Rampa de aquecimento utilizada na carbonização do *Eucalyptus benthamii*.
Table 1. Heating ramp used in the carbonization of *Eucalyptus benthamii*.

Tempo (h)	Temperatura (°C)	(°C/min)
Início	25	
20 (0:00 h)	150	7,50
87 (1:27 h)	200	2,30
184 (3:04 h)	250	1,36
288 (4:48 h)	350	1,22
362 (6:02 h)	450	1,24
394 (6:32 h)	450	

Após carbonização e resfriamento, os corpos de prova foram pesados e medidos novamente, para a determinação do rendimento gravimétrico e volumétrico do carvão. O rendimento gravimétrico é a relação entre o peso final do carvão e o peso seco da madeira (pré-carbonização), expresso em porcentagem. Já o rendimento volumétrico é a relação entre o peso final do carvão e o volume pré-carbonização, também expresso em porcentagem.

Além disso, foram realizadas a análise imediata em termobalança gravimétrica (TGA), utilizando-se a norma ASTM D 1762 (American Society for Testing and Materials, 2007), com temperaturas de 900 °C para porcentagem de voláteis e carbono fixo e 525 °C para cinzas. O poder calorífico superior foi determinado em calorímetro, segundo a norma DIN 51900 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2000).

Após a obtenção dos dados, realizou-se a análise estatística através do teste F, para verificação da variação entre as idades, seguida de comprovação através do teste de médias de Tukey (com intervalo de confiança de 95%). Foram comparadas as médias obtidas nos dois tratamentos (5 e 13 anos), a fim de determinar se houve influência da idade nas variáveis observadas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Propriedades físicas e energéticas da madeira de *Eucalyptus benthamii*

Os valores médios obtidos na caracterização física e na análise energética da madeira para as duas idades estudadas são apresentados na tabela 2. É apresentada, também, uma média geral para a espécie *Eucalyptus benthamii*.

A idade teve influência nos valores obtidos para todas as características energéticas avaliadas. Quanto às propriedades físicas, observou-se uma tendência de influência da idade na massa específica básica. A maior massa específica básica foi encontrada para a idade de 13 anos, o que também aconteceu para o poder calorífico superior, teor de voláteis e teor de cinzas. Consequentemente, para a mesma idade, o teor de carbono fixo foi menor.

Em relação à massa específica básica, não houve variação estatística entre as duas idades e os valores obtidos estão condizentes com valores encontrados na literatura. Cunha *et al.* (2009), utilizando amostras provenientes do mesmo lote utilizado neste trabalho, para idade de 13 anos, também obteve valores próximos: para massa específica básica, o valor foi de 0,531 g/cm³, e para massa específica aparente a 12%, foi de 0,671 g/cm³.

Tabela 2. Propriedades físicas e energéticas da madeira de *Eucalyptus benthamii*, para as idades de 5 e 13 anos.

Table 2. Physical and energetic properties of *Eucalyptus benthamii* wood, for ages 5 and 13 years.

Característica	Análise da madeira		
	5 anos	13 anos	Média
Massa específica básica (g/cm ³)	0,449 a	0,505 a	0,477
Massa específica aparente (g/cm ³) ¹	0,689 -	0,684 -	-
Poder calorífico superior (kcal/kg)	4067 b	4194 a	4131
Teor de voláteis (%)	81,47 b	82,74 a	82,11
Teor de cinzas (%)	0,25 b	0,43 a	0,34
Teor de carbono fixo (%)	18,28 a	16,83 b	17,56

Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem significativamente ao nível de 5% de erro no teste de médias de Tukey (0,95). ¹A massa específica aparente foi determinada antes da carbonização, motivo pelo qual a amostra de 5 anos está a 15% e a de 13 anos está a 12% de umidade. Sendo assim, não é possível calcular uma média.

Lima *et al.* (2007), ao estudar 91 indivíduos de *Eucalyptus benthamii* com 6 anos de idade, determinou que a massa específica básica da madeira foi de 0,475 g/cm³, valor aproximado à média encontrada para a espécie e também para a idade de 5 anos. Resultados semelhantes foram obtidos para *Eucalyptus benthamii* em um estudo realizado por Pereira *et al.* (2000), em que, para a idade de 4 anos, a massa específica básica foi de 0,403 g/cm³, e para a idade de 7 anos foi de 0,477 g/cm³.

Para os valores de poder calorífico superior, obtidos estatisticamente, houve diferença entre as duas idades estudadas. Porém, sabendo-se que a diferença foi de apenas 127 kcal/kg, pode-se afirmar que o ganho energético efetivo não é significativo. De acordo com Brand (2010), para efeito prático de uso da biomassa para geração de energia são consideradas relevantes apenas diferenças superiores a 300 kcal/kg. Com base nos resultados obtidos, não se justifica esperar a floresta atingir a idade de 13 anos, quando a madeira for destinada para a produção de carvão vegetal. No entanto, para afirmações mais sólidas, é necessária a realização de estudos econômicos que avaliariam outros aspectos de manejo da floresta. Os valores obtidos para o poder calorífico superior da madeira foram inferiores ao encontrado por Lima *et al.* (2007), que foi de 4681 kcal/kg para *Eucalyptus benthamii*.

Com relação à análise imediata da madeira, os maiores valores de teor de voláteis e teor de cinzas e, consequentemente, o menor valor de teor de carbono fixo, foram obtidos para a idade de 13 anos. Ao analisar estatisticamente o teor de voláteis e o teor de cinzas, observou-se que existe diferença entre as duas idades, indicando que há influência da idade nessas duas características.

Propriedades físicas e energéticas do carvão vegetal de *Eucalyptus benthamii*

Na tabela 3, observam-se os valores médios obtidos na caracterização física e na análise energética do carvão vegetal produzido a partir da madeira de *Eucalyptus benthamii* para as duas idades estudadas, além da média geral para a espécie.

Tabela 3. Propriedades físicas e energéticas do carvão vegetal obtido da madeira de *Eucalyptus benthamii*, para as idades de 5 e 13 anos.

Table 3. Physical and energetic properties of charcoal obtained from *Eucalyptus benthamii*, for ages 5 and 13 years.

Característica	Análise do carvão		
	5 anos	13 anos	Média
Teor de umidade inicial ¹ (%)	15	12	-
Rendimento gravimétrico (%)	34 b	36 a	35
Rendimento volumétrico (%)	20 a	21 a	20,5
Massa específica aparente (g/cm ³)	0,240	0,360	-
Teor de umidade final ² (%)	4	4	-
Poder calorífico superior (kcal/kg)	6928 a	6676 a	6802
Teor de voláteis (%)	29,70 b	31,11 a	30,41
Teor de cinzas (%)	1,00 b	2,72 a	1,86
Teor de carbono fixo (%)	69,30 a	66,17 b	67,74

Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem significativamente ao nível de 5% de erro no teste de médias de Tukey (0,95). ¹ O teor de umidade inicial corresponde ao teor de umidade em que a madeira estava antes de ser realizada a carbonização.

² O teor de umidade final corresponde ao teor de umidade do carvão, após o processo de carbonização e armazenamento do mesmo.

O carvão da madeira com idade de 13 anos apresentou maior rendimento, tanto gravimétrico quanto volumétrico, e maior massa específica aparente final. Porém o carvão da madeira com 5 anos de idade apresentou melhor qualidade para geração de energia, pois foram obtidos valores maiores de poder calorífico superior e teor de carbono fixo, e valores menores de teor de voláteis e teor de cinzas.

Em relação ao rendimento gravimétrico do processo de carbonização, houve diferenças estatísticas entre as médias de cada idade. Porém, na prática, a variação não é relevante em relação ao processo de carbonização. Já para o rendimento volumétrico não foi observada diferença entre as idades avaliadas. Pode-se afirmar que a média encontrada para espécie, que foi de 35%, está de acordo com a literatura. Lima *et al.* (2007) obteve um rendimento gravimétrico de 34,86% para a idade de 6 anos e Pereira *et al.* (2000) obteve o valor de 34,30% para idade de 7 anos, ambos analisando *Eucalyptus benthamii*.

Em função de o teor de umidade inicial ser diferente para cada uma das idades estudadas, não foi possível calcular uma média da massa específica aparente do carvão para a espécie. Consequentemente, não foi possível avaliar se houve ou não diferença significativa em relação à idade. O que se pode afirmar é que madeiras com massa específica básica mais elevada produzem carvão com maior massa específica aparente (BOTREL *et al.*, 2007). Isso se confirma neste estudo, pois o carvão obtido da madeira de *Eucalyptus benthamii* com idade de 13 anos possui uma massa específica aparente maior do que o obtido da madeira com 5 anos de idade. Ainda citando Botrel *et al.* (2007), observa-se que, em seu trabalho com clones híbridos de *Eucalyptus* spp., a massa específica aparente média do carvão foi de 0,335 g/cm³, variando de 0,280 a 0,402 g/cm³, valores próximos aos obtidos para as duas idades estudadas.

Para os valores encontrados de poder calorífico superior do carvão, não houve diferença significativa entre as duas idades. Os valores para cada idade e também a média para a espécie ficaram abaixo dos encontrados na literatura. Observando os estudos de Lima *et al.* (2007) para *Eucalyptus benthamii* de 6 anos de idade e de Pereira *et al.* (2000) para a mesma espécie com 7 anos de idade, o poder calorífico superior foi de 8777 kcal/kg e 8187 kcal/kg, respectivamente. No mesmo estudo, para *E. dunnii*, Pereira *et al.* (2000), para idade de 4,5 anos, obteve o valor médio de 7300 kcal/kg.

Para o teor de voláteis, foi observada diferença estatística entre as duas idades, sendo que o maior teor de voláteis foi encontrado para a maior idade. O teor de voláteis médio obtido para a espécie foi 30,41%, sendo essa média superior às relatadas por Lima *et al.* (2007) e Pereira *et al.* (2000) para a mesma espécie, que encontraram os valores de 17,17% (6 anos de idade) e 15,1% (7 anos de idades), respectivamente. Para a espécie *Eucalyptus dunnii*, Pereira *et al.* (2000) obteve o valor médio de 15,9% para a idade de 4,5 anos e 14,1% para a idade de 8 anos.

Em relação ao teor de cinzas, foi observada uma diferença significativa entre as duas idades, sendo que o maior valor foi encontrado para a maior idade. A média para a espécie foi de 1,86%, superior à média encontrada por Lima *et al.* (2007), que foi de 0,96% para 6 anos de idade, e por Pereira *et al.* (2000), que foi de 1,3% para a idade de 7 anos. Já para *Eucalyptus dunnii*, Pereira *et al.* (2000) encontraram os seguintes valores: 2,3% para 4,5 anos e 1,2% para 8 anos de idade.

O teor de carbono fixo indica o “grau de pureza” do carvão, sendo inversamente proporcional ao seu rendimento (LIMA *et al.*, 2007). Além disso, o teor de carbono fixo é considerado uma das características mais importantes no procedimento de qualificação do carvão para uso energético, visto que ele está diretamente ligado ao poder calorífico (BATAUS *et al.*, 1989). De acordo com Pinheiro e Sèye (1998), quanto maior for a temperatura final durante o processo de carbonização, maior será a porcentagem de carbono fixo e menor o teor de voláteis. Os autores, em um estudo sobre as qualidades físico-químicas do carvão do gênero *Eucalyptus*, observaram que, a uma temperatura final de 450 °C, o carvão vegetal apresentava 75% de carbono fixo, e que quando a temperatura subia até 650 °C, o teor de carbono fixo passou para aproximadamente 85%. Os teores de carbono fixo observados para as duas idades analisadas ficaram abaixo dos encontrados por Pereira *et al.* (2000) e Lima *et al.* (2007) para *Eucalyptus benthamii*, que foram de 83,60% e 81,85%, respectivamente, para temperaturas finais semelhantes.

O Selo Premium, promulgado pela Resolução n° 10 SAA, de 11 de julho de 2003, no estado de São Paulo, determina que a umidade do carvão vegetal deve estar abaixo de 5%, o teor de carbono fixo deve ser maior que 75% e que o teor de materiais voláteis e o teor de cinzas devem ser menores que 23,5% e 1,5%, respectivamente (SÃO PAULO, 2003).

Levando em consideração a idade, pode-se afirmar que a qualidade do carvão proveniente da madeira de 5 anos está mais próxima dos valores do Selo Premium. Analisando a espécie no geral, os valores obtidos foram diferentes aos exigidos; apenas o teor de umidade ficou de acordo com a norma.

CONCLUSÕES

Propriedades físicas e energéticas da madeira de *Eucalyptus benthamii*.

- Houve influência da idade para as características energéticas observadas da madeira.
- Para massa específica básica não houve influência da idade.
- A madeira com 5 anos de idade apresentou maior teor de carbono fixo, menor teor de voláteis e menor teor de cinzas.
- A madeira com 13 anos de idade apresentou maior massa específica básica e maior poder calorífico superior.
- As diferenças nas propriedades físicas e energéticas da madeira não justificam a manutenção da floresta até os 13 anos de idade, quando seu uso final é a geração de energia na forma de carvão.
- No geral, pode-se afirmar que os valores obtidos para a espécie *Eucalyptus benthamii* foram compatíveis com os encontrados na literatura para comparação.

Propriedades físicas e energéticas do carvão vegetal de *Eucalyptus benthamii*.

- Para o carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus benthamii*, houve influência da idade no rendimento gravimétrico, no teor de voláteis e no teor de cinzas.
- O carvão vegetal de 5 anos apresentou valores maiores para poder calorífico superior e teor de carbono fixo, e menores para teor de voláteis e teor de cinzas.
- O carvão vegetal produzido com madeira de 13 anos obteve maior rendimento final e maior massa específica aparente básica.
- O carvão vegetal produzido com madeira de 5 anos possui melhor qualidade.
- A espécie *Eucalyptus benthamii* pode ser utilizada para produção de carvão vegetal e sua qualidade final é considerada inferior quando comparada à espécie *Eucalyptus dunni*.
- Os valores obtidos neste estudo para a espécie não são adequados às recomendações do Selo Premium.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1762**: Standard test method for chemical analysis of wood charcoal. PA: American Society for Testing and Materials. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Determinação da Densidade Básica. **NBR 11491**. mar, 2003.

BATAUS, Y. S. de L.; PASTORE JÚNIOR, F.; OKINO, E. Y. A.; PASTORE, T. C. M. **Carbonização integral de frutos de palmáceas**. Brasília, DF: IBAMA, LPF, 1989. Série técnica 2. 15 p.

BOTREL, M. C. G.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; SILVA, J. R. M. Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 391 - 398, 2007.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 114 p.

CUNHA, A. B.; BRAND, M. A.; NERI, A. C.; SANTOS, R. M. dos; ANDRADE, S. Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunni*. **Relatório técnico**. Universidade do Planalto Catarinense, Lages, 2009. 92 p.

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

LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; MAGALHÃES, W. L. E.; LAVORANTI, O. J. Caracterização individual de árvores de *Eucalyptus benthamii* para uso energético. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa**, Colombo, n. 35, 2007. 26 p.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. de P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319 - 330, 2011.

- MORA, A. L.; GARCIA, C. H. Sociedade Brasileira de Silvicultura. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112 p.
- MÜLLER, B. V. **Efeito de sistemas de desdobro na qualidade e rendimento de madeira serrada de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p.
- PINHEIRO, P. C. C.; SAMPAIO, R. S.; REZENDE, M. E. A.; VIANA, E. **A produção de carvão vegetal: teoria e prática**. Belo Horizonte, 2006. 120 p.
- PINHEIRO, P. C. da C.; SÈYE, O. Influência da temperatura de carbonização nas propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 53., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 1998. p. 2032.
- SANTOS, E. **Nossas madeiras**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1987. 313 p.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo. **Resolução nº 10 SAA**, de 11 de julho de 2003. São Paulo. 2003.
- TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; MENDES, L. F. B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 178 - 186, 2005.

