

Recebido: 02-05-2014 Aceito: 24-07-2015

Avaliação do efeito da relação siringila/guaiacila da lignina de eucalipto na produção de carvão vegetal

Adriana Fátima Gomes Gouvêa¹, Paulo Fernando Trugilho², Claudinéia Olímpia de Assis², Maíra Reis Assis², Jorge Luiz Colodette³, Claudia Marcia Gomes⁴

¹Engenharia Florestal, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, Aquidauana, MS.

²Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, MG.

³Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

⁴Engenharia Florestal, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas, BA.

RESUMO A lignina é considerada o constituinte químico mais importante para a produção de carvão vegetal, pois tem implicações diretas no rendimento gravimétrico e teor de carbono fixo. O conteúdo e a estrutura química da lignina, em termos de unidades fenilpropano, são parâmetros que podem ser considerados importantes para a produção de carvão vegetal. O objetivo do presente estudo foi avaliar o impacto da relação siringila/guaiacila (S/G) da lignina no rendimento gravimétrico da carbonização. Para o estudo, foram selecionados oito clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* plantados em uma região de Minas Gerais. Os clones foram caracterizados em função da determinação da relação S/G da lignina, da densidade básica, do teor de extrativos, do teor de celulose, do teor de hemiceluloses e do teor de lignina. A carbonização foi realizada em forno elétrico a uma taxa de aquecimento de 1,67°C/minuto, permanecendo 30 minutos na temperatura máxima de 450°C. O tempo de carbonização foi de 4 horas. Posteriormente, foram determinados os rendimentos gravimétricos em carvão vegetal, teor de materiais voláteis, compostos inorgânicos e carbono fixo dos mesmos. Vários estudos relataram que as características ideais para a produção de carvão vegetal estão baseadas na composição química da madeira e densidade básica. Os resultados mostraram que os rendimentos gravimétricos obtidos em carvão vegetal se correlacionaram fracamente ou não se correlacionaram com os parâmetros tradicionalmente avaliados, como densidade e lignina total. Porém, apresentaram correlação negativa e significativa com a relação S/G da lignina (-0,81).

Palavras-chave: lignina, rendimento, carvão vegetal.

Evaluation of syringyl/guaiacyl ratio of eucalypt lignin in the charcoal production

ABSTRACT Lignin is considered the most important chemical constituent for production of charcoal because it has direct implications in the gravimetric yield and fixed carbon content. The content and the lignin chemical structure - in terms of units of phenylpropane - are important parameters in charcoal production. The objective of this study was to evaluate the effect of the syringyl/guaiacyl (S/G) ratio of lignin on the carbonization yield of charcoal. Eight hybrid clones of *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* planted in Minas Gerais were selected. Wood from the clones were characterized by determination of S/G ratio of lignin, basic density, extractives content, cellulose, hemicelluloses and total lignin content. The carbonization was performed in an electric oven with heating rate of 1.67°C/minute. Wood samples were exposed for 30 minutes at 450°C. The total time of carbonization was 4 hours. After this, charcoal gravimetric efficiency, volatile matter, inorganic compounds content and fixed carbon of charcoal were determined. Many studies reported the ideal characteristics for the charcoal production are based on wood chemistry composition and basic density. The results showed that the gravimetric yields of charcoal were poorly correlated or not correlated with the traditionally parameters evaluated as density and total lignin content. However, these parameters showed negative and significant correlation with the S / G ratio of lignin (-0.81).

Keywords: lignin, yield, charcoal.

Introdução

A madeira de eucalipto é fonte dominante de matéria-prima para a indústria de carvão vegetal no Brasil. Em 2012, de toda a madeira de florestas plantadas de eucalipto produzidas no país, 38,7% foi destinada a produção de carvão vegetal (ABRAF, 2013). O conhecimento da composição química dos componentes da madeira é crucial para a avaliação de sua qualidade, bem como a otimização da tecnologia no controle de qualidade dos processos de produção de carvão ou utilização da madeira visando o uso energético.

O conteúdo de lignina presente na madeira representa cerca de 20-33% da biomassa (Sjöström, 1998). A lignina é composta por macromoléculas tridimensionais, amorfas e ramificadas; e apresenta o fenilpropano como unidade básica, unidos por ligações do tipo éter (C-O-C) e carbono-carbono (C-C) (ROWELL, 2005). A lignina é definida em função do tipo de unidade monomérica que a compõem, sendo que na madeira de folhosas, a lignina é formada pelo co-polímero siringila-guaiacila (S-G), nas coníferas por unidades guaiacila e *p*-hidroxifenila (lignina G-H) (SARKANEM, 1971). O conteúdo e a estrutura química dos componentes da madeira, em particular, o conteúdo de lignina e sua composição em termos de unidades fenilpropanóides são parâmetros importantes para a produção de carvão vegetal considerando a taxa de degradação dos componentes da madeira e o rendimento da carbonização.

Estudos da composição da lignina nos programas de melhoramento genético podem contribuir para elevar o rendimento em carvão vegetal durante a carbonização, que atualmente é em torno de 30%, um valor considerado relativamente baixo com elevada perda da matéria-prima. Na última década, muitos estudos referentes à manipulação das vias de biossíntese da lignina têm sido realizados, pois há enorme interesse dentro do tema devido à possibilidade de se obter

plantas mais adequadas aos processos de deslignificação usados na indústria de celulose e papel, bem como à nascente indústria de conversão da biomassa lignificada em etanol (VANHOLME et al., 2008).

O objetivo do presente estudo foi avaliar o impacto da relação siringila/guaiacila (S/G) da lignina no rendimento gravimétrico da carbonização.

Material e Métodos

Material

Para o estudo, foram selecionadas 8 árvores de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com 3 anos de idade, em uma região do estado de Minas Gerais, aqui representados como: A, B, C, D, E, F, G e H. De cada árvore selecionada, foram retirados toretes de 1 m a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do tronco, considerado até um diâmetro mínimo de 7 cm. Posteriormente, os toretes foram transformados em cavacos, homogeneizados e classificados.

Densidade básica

A densidade básica média da árvore foi determinada em amostra de cavacos obtidos a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. As amostras obtidas foram homogeneizadas para compor a representação da densidade média da árvore, sendo os resultados obtidos em triplicatas. Foi utilizado o método da medição indireta do volume (balança hidrostática), descrito pela norma TAPPI 258 om-85.

Análise química

Amostras de cavacos foram transformadas em serragem utilizando-se moinho Wiley. As serragens de madeira, após classificação em peneiras de malhas de 40 e 60 mesh, foram

mantidas a 23°C e 50% de umidade relativa por 24 h e armazenadas em frascos hermeticamente fechados. As metodologias utilizadas para as análises químicas da madeira estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Análises químicas da madeira de eucalipto.

Table 1. Chemical analyzes of Eucalyptus wood.

Características	Metodologia
Extrativos em acetona	SCAN TEST CM 49-93 (2001)
Lignina insolúvel	GOMIDE; DEMUNER (1986)
Lignina solúvel	GODSCHMID (1971)
Relação siringila/guaiacila (S/G)	LIN; DENCE (1992)
Grupos acetilas	SOLAR et al. (1987)
Ácidos urônicos	SCOTT (1979)
Análise de carboidratos	KAAR (1991)
Teor de cinzas	ABNT NBR 8112 (1983)

Carbonização da madeira e avaliação do carvão vegetal

As carbonizações foram feitas em um forno elétrico, tipo mufla, a uma taxa de aquecimento de 1,67°C/minuto, permanecendo 30 minutos na temperatura máxima de 450°C. O tempo de carbonização foi de 4 horas. O material foi colocado diretamente no forno previamente seco em estufa a 103°C, tendo como temperatura inicial 100°C. (BOTREL et al., 2007). Após o resfriamento, foi avaliado o rendimento gravimétrico da carbonização a partir da Equação 1.

$$RCV = (MSC / MSM) * 100 \quad \text{Equação 1}$$

Em que: RCV = Rendimento em Carvão Vegetal; MSC = Massa Seca do Carvão; MSM = Massa Seca da Madeira

A composição química imediata foi determinada de acordo com a norma ABNT NBR 8112 (ABNT, 1983), com determinação de materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo, na base seca.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando estabelecidas diferenças entre eles, aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Foi realizada análise de correlação empregando o coeficiente de correlação de Pearson a 5% de probabilidade de erro pelo teste T, a fim de verificar a possível relação entre as características químicas e física das madeiras dos clones estudados, principalmente em relação ao teor S/G, e o rendimento gravimétrico em carvão vegetal.

Resultados e Discussão

Na Tabela 2 pode-se, observar que o clone B apresentou o maior e menor teor de celulose e hemiceluloses, respectivamente, sendo estatisticamente diferente dos demais.

O teor de lignina dos vários clones variou na faixa de 28,08%-31,70%. A madeira com maior teor de lignina foi a do clone E e o menor valor no clone F. O teor de extrativos em acetona das madeiras variou de 0,83% a 1,75%, sendo encontrado no clone D o maior valor e nos clones A e F o menor valor.

A relação siringila/guaiacila da lignina é bastante variável dentro da árvore, entre árvores e entre espécies (Wu et al., 1992). Enquanto as ligninas de madeiras de coníferas são compostas quase que exclusivamente por unidades guaiacilas, denominadas de ligninas tipo G, as ligninas de madeiras de folhosas são mais ricas em unidades siringilas, denominadas de ligninas tipo GS (FENGEL et al., 1989). Nesse estudo, a relação S/G das ligninas variou na faixa de 2,31 a 3,05, sendo o menor valor observado para o clone G, que foi estatisticamente diferente dos demais, seguido dos clones H, D e E, estes estatisticamente iguais.

Tabela 2. Valores médios das características avaliadas na madeira**Table 2.** Average values of the characteristics evaluated in wood

Clone	Caracterização Química (%)					Densidade
	Celulose	Hemiceluloses*	Lignina Total	Extrativos**	S/G (mol/mol)	Básica (kg/m ³)
A	42,95 d	27,08 d	29,14 e	0,83 ef	2,98 b	450 c
B	46,85 a	23,90 h	28,08 f	1,17 d	3,02 ab	451 c
C	40,20 f	28,35 a	29,96 d	1,49 b	3,05 a	482 a
D	39,59 g	27,79 c	30,87 b	1,75 a	2,57 c	474 b
E	40,16 f	26,81 e	31,70 a	1,33 c	2,51 c	472 b
F	44,57 b	24,57 g	30,11 dc	0,75 f	3,02 ab	472 b
G	43,34 c	25,05 f	30,24 c	1,37 c	2,31 e	483 a
H	41,65 e	28,12 b	29,33 e	0,90 e	2,43 d	482 a

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey.

* Somatório dos polímeros de xilanas, mananas, arabinanas, galactanas, ácidos urônicos e acetil; ** Extrativos em acetona.

A densidade básica variou de 450 a 483 (kg/m³), em que os clones C, G e H apresentaram os valores mais elevados de densidade básica e foram estatisticamente diferentes dos demais.

Na Tabela 3 encontram-se os valores médios do rendimento gravimétrico em carvão vegetal e valores de análise química imediata. O rendimento gravimétrico da carbonização (RGC) variou de 31,16 a 34,42 (%). Observou-se que os clones D, E, G e H apresentaram os maiores valores de RGC, sendo os mesmos que apresentaram os menores valores de relação S/G (Tabela 2), comprovando ser esta a variável de maior importância no processo de carbonização, não deixando de levar em consideração todos os parâmetros favoráveis da madeira e processo de produção. O teor de materiais voláteis variou de 16,24 a 22,48%, onde o menor valor encontrado foi no clone H, que também apresentou o maior valor de teor de carbono fixo e diferiu estatisticamente dos demais. O teor de compostos inorgânicos variou de 0,34 a 0,55%. Os clones G e H apresentaram os melhores atributos para fins energéticos, ou seja, menor relação S/G e elevada densidade básica (Tabela 2) e maior teor de carbono fixo (Tabela 3).

Na Tabela 4 encontram-se os valores de correlação de Pearson entre o rendimento gravimétrico em carvão vegetal e as características avaliadas nos clones estudados.

Observou-se que pelo teste t a 5% de probabilidade de erro, o teor de lignina total apresentou correlação positiva e não significativa, enquanto a relação S/G da lignina apresentou correlação negativa, significativa (-0,81) e de elevada magnitude comparada às demais variáveis estudadas. Sabe-se que diversos fatores interferem no processo de carbonização da madeira, porém o tipo de lignina presente na madeira reflete positivamente na escolha dos melhores clones para produção de energia.

Tabela 3. Valores médios de rendimento e análise química imediata do carvão vegetal**Table 3.** Average values of yield and chemical analysis of charcoal.

Clones	RGC (%)	TMV (%)	TCI (%)	TCF (%)
A	32,28 d	21,53 c	0,34 b	78,13 c
B	32,11 d	24,52 a	0,42 b	75,06 e
C	32,82 c	21,71 c	0,47 b	77,82 c
D	33,50 b	21,29 d	0,34 b	78,37 c
E	33,26 b	22,58 b	0,42 b	77,00 d
F	31,15 e	21,48 d	0,55 a	77,97 c
G	33,47 b	20,94 d	0,38 b	78,68 b
H	34,29 a	16,24 e	0,35 b	83,41 a

RGC: Rendimento gravimétrico em carvão vegetal; TMV: Teor de materiais voláteis; TCI: Teor de compostos inorgânicos; TCF: Teor de carbono fixo.

De acordo com Pereira et. al. (2013), o rendimento em carvão vegetal está intimamente relacionado à composição química da madeira, no que se diz respeito a elevados teores

de lignina, aliado às variáveis do processo de produção. Porém, no presente trabalho, o teor de lignina total foi a variável que exerceu menor influência na carbonização da madeira. Estudos já comprovavam que processos térmico envolvendo desestruturação da madeira tem efeito significativo em função do tipo de lignina presente na biomassa (GOMES et al. 2008).

Tabela 4. Correlações lineares de Pearson entre o rendimento gravimétrico em carvão vegetal e as características avaliadas na madeira.

Table 4. Linear correlations of Pearson between gravimetric yield of charcoal and wood characteristics.

	Cel.	Hemi.	Lig. T.	Ext.	S/G	DB
RGC	-0,59*	0,61*	0,27 ^{ns}	0,41*	-0,81*	0,54*

Em que: RGC = Rendimento Gravimétrico em Carvão Vegetal; S/G = Relação siringila/guaiacila; * significativo a 0,95 de probabilidade pelo teste t; ^{ns} não significativo a 0,95 de probabilidade pelo teste t.

A Figura 1 mostra graficamente a tendência de variação do rendimento gravimétrico em função do teor de celulose, hemiceluloses, extrativos, relação S/G da lignina e densidade básica.

Observa-se pela Figura 1 que a relação S/G da lignina apresentou o melhor ajuste ($r^2=0,6559$) para as correlações no estudo do rendimento gravimétrico da carbonização, seguido da hemiceluloses, celulose, densidade básica e extrativos. Isto indica que, dependendo do tipo de lignina presente na madeira, o teor de lignina total terá implicação direta no rendimento gravimétrico. Ao compararmos a estrutura do tipo siringila com guaiacila, percebemos que a diferença encontra-se no carbono cinco do anel aromático, pois enquanto na posição cinco da estrutura siringila encontra-se uma metoxila ligada, na guaiacila a posição encontra-se livre. Isto favorece a substituição aromática, e conseqüentemente a formação de uma lignina mais condensada, tornando-a mais estável termicamente. Portanto, a lignina, mesmo sendo um importante parâmetro de avaliação da madeira para carbonização, não

deve ser avaliada individualmente. Brito e Barrichelo (1997), trabalhando com 10 espécies de eucalipto, também não encontraram correlação significativa entre o teor de lignina e rendimento em carvão vegetal. De acordo com Gouvêa (2009), o estudo do tipo de lignina presente na madeira de eucalipto é de importância considerável, pois uma maior compreensão de suas propriedades e reações pode resultar no melhor aproveitamento no rendimento dos processos que a envolvem.

A densidade da madeira é outro parâmetro de grande importância na produção de carvão vegetal, uma vez que para um mesmo volume de madeira é possível obter maior rendimento gravimétrico em carvão vegetal se a densidade da madeira utilizada for mais elevada. Além disso, madeira mais densa produz um carvão vegetal com densidade mais elevada e maior resistência mecânica, apresentando vantagens para alguns de seus usos, como para fins siderúrgicos (BOTREL et al., 2007).

Vários estudos relataram que as características ideais para a produção de carvão vegetal estão baseadas em teor de lignina, extrativos e densidade básica (COLLET, 1955; BRITO, 1977; TRUGILHO et al., 2005). Portanto, as características da madeira não devem ser estudadas isoladamente, em especial a lignina, a qual deve ser melhor compreendida para fins energéticos. A relação S/G da lignina é um fator pelo qual alguns autores encontram correlação da lignina com o rendimento gravimétrico (PROTÁSSIO et al., 2012; SOARES et al., 2014), enquanto que outros não encontraram correlação alguma (VALE et al., 2010; TRUGILHO et al., 1991). Este fato ocorre pois a quantidade de unidades guaiacila e siringila presentes na madeira de eucalipto podem variar consideravelmente. Por exemplo, em estudo realizado com 120 árvores de clones de eucalipto foi obtido unidades do tipo siringilas em relação às guaiacilas (relação S/G) na ordem de 2,50 a 3,12, sendo a relação média de 2,88 (GOMES et al., 2008). Este resultado

mostra que a variação dessa característica na madeira de eucalipto é grande e que se deve procurar por materiais genéticos que possuam relação S/G adequada ao uso na produção de carvão vegetal.

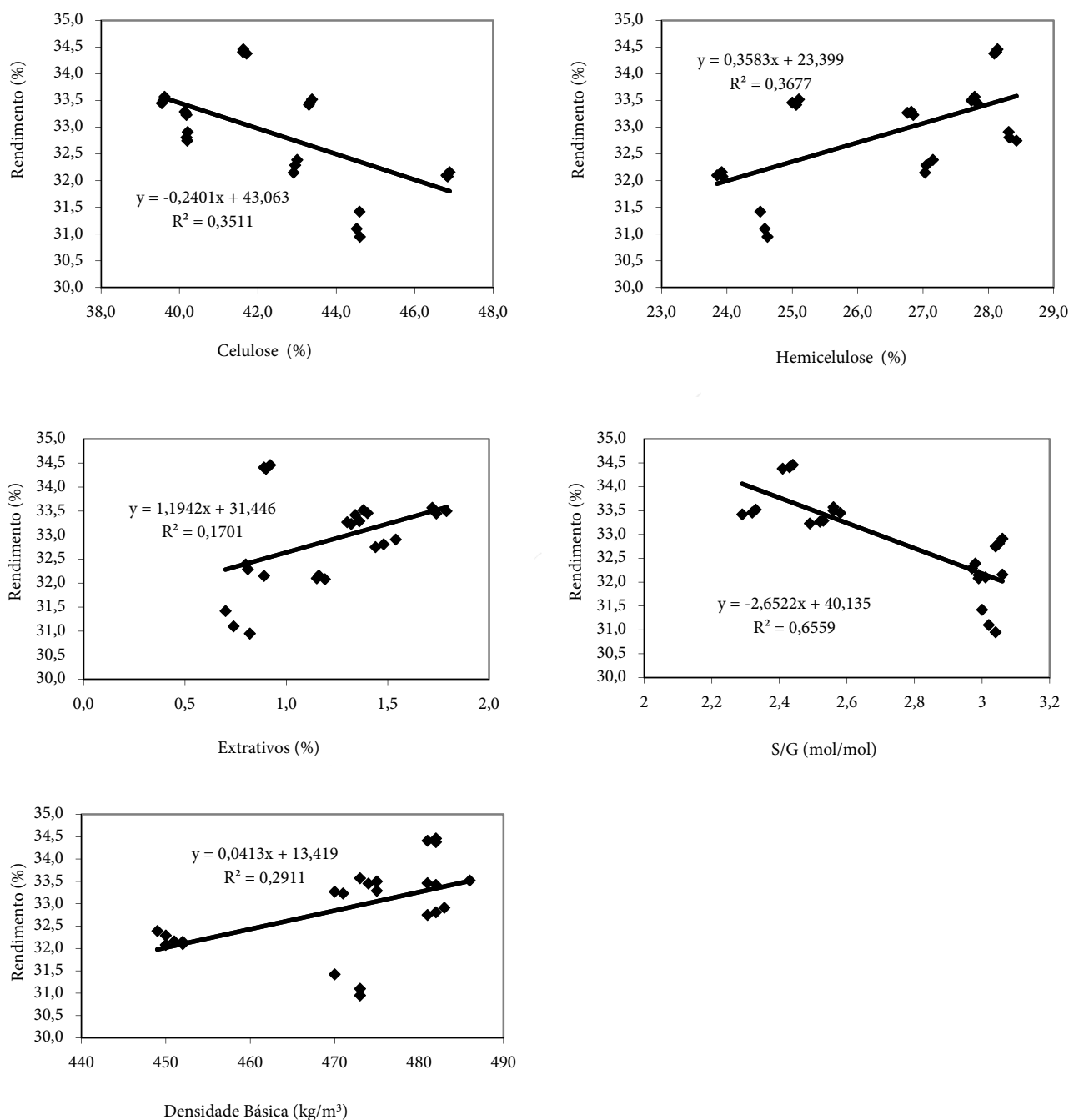


Figura 1. Teor do rendimento gravimétrico em função do teor de celulose, teor de hemiceluloses, extrativos, relação S/G e densidade básica de oito clones híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Figure 1. Gravimetric yield content as a function of the cellulose content, hemicelluloses content, extractives, S/G ratio and basic density of eight *E. grandis* x *E. urophylla* hybrid clones.

Conclusões

De acordo com os resultados apresentados, é possível concluir que:

A relação S/G da lignina apresentou melhor relação funcional com o rendimento gravimétrico em carvão vegetal seguida do teor de hemiceluloses, celulose, densidade básica e extrativos.

Os clones com menor relação S/G apresentaram os melhores rendimentos gravimétricos em carvão vegetal.

A relação S/G mostrou-se como o melhor parâmetro para qualidade da madeira avaliado com base no rendimento da carbonização, em que os clones D, E, G e H são os mais indicados para o processo de carbonização da madeira

Somente em função do copolímero de lignina presente na madeira, pode-se concluir que o teor de lignina total terá implicação direta no rendimento gravimétrico do carvão vegetal.

O copolímero de lignina presente na madeira de eucalipto deve ser inserido como importante parâmetro de qualidade da madeira para produção de carvão vegetal.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8112-Carvão vegetal: análise química imediata. Rio de Janeiro, 1986. 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, MG, v. 31, n. 3, p. 391-398, maio/jun. 2007.

COLLET, F. Estudo comparativo, em escala de laboratório, de diversas madeiras utilizadas na fabricação de carvão vegetal. **Boletim da Associação Brasileira de Metais**, v.42, n.12, p.5-14, 1955.

DEL-RÍO, J. C.; GUTIÉRREZ, A.; HERNANDO, M.; LANDÍN, P.; ROMERO, J.; MARTÍNEZ, A. T.; J. **Analytical and Applied Pyrolysis**. v.74, p.110. 2005.

FENGEL, D.; WEGENER, G.; **Wood Chemistry, Ultrastructure and Reactions**, 1st ed., Walter de Gruyter: Berlin, 1989.

GOLDSCHMID, O. Ultraviolet Spectra. In: SARKANEM, K.; LUDWING, C.H. **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions**. New York: J. Wiley, 1971. p. 241-298.

GOMIDE, J.L.; DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina na madeira: método Klason modificado. **O Papel**, v.47, p.36- 38, 1986.

GOMES, F. J. B., GOUVÊA, A. F. G., COLODETTE, J. L., GOMIDE, J. L., CARVALHO, A. M. M. L., TRUGILHO, P. F., GOMES, C. M., ROSADO A.M. Influência do teor da relação S/G da lignina da madeira no desempenho da polpação Kraft. **O Papel**, v. 69, p. 95-105, Dezembro 2008.

GOUVÊA, A. F. G.; TRUGILHO, P. F. COLODETTE, J. L.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R.; Gomide, J. L. Avaliação da madeira e da polpação kraft em clones de eucaliptos. **Revista Árvore**, Dez 2009, v.33, n.6, p.1175-1185.

LIN, S.Y.; DENCE, C.W. **Methods in lignin chemistry**. Berlin: Springer-Verlag, 1992. 578p.

PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O; CARVALHO, A. M. M.; TRUGILHO, P. F.; MELO, I. C. N. A., OLIVEIRA, A. C.. Estudo da Degradação Térmica da Madeira de *Eucalyptus* através de Termogravimetria e Calorimetria. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.3, p.567-576, 2013

PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; NEVES, T. A.; VIEIRA, C. M. M.; Análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 317-326, set. 2012.

ROWELL, R. M.; PETERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. Cell wall chemistry. In: ROWELL, R.M. (Ed.). **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC Press, 2005. p.121-138.

SARKANEN, K. V.; HERGERT, H. L. Lignins-occurrence, formation, structure and reaction; SARKANEN, K. V.; Ludwig, C. H., eds.; John Wiley: New York, 1971, cap. 2. p. 43-89.

SCAN - **Scan Test Standard of Scandinavian Pulp, Paper and Board**. Stockholm, Sweden. 2001. p. 6.

SJÖSTRÖM, E. **Analytical Methods in Wood Chemistry, Pulping, and Papermaking**. Finland, 1998, 314p.

SOARES, V. C.; Maria Lúcia BIANCHI, M. L.; , TRUGILHO, P. F. ; PEREIRA, A. J. HÖFLER, J. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.38, n.3, p.543-549, 2014.

TAPPI T 264 cm-97. **Preparation of wood for chemical analysis**. Atlanta: Tappi Press, 1997. p. 3.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A.; FRAZÃO, F. J. L.; REGAZZI, A. J. Caracterização de Espécies Nativas e Exóticas Amazônicas e do Carvão Vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, v.15, n.2, p. 144-151, 1991.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; MORI, F. A. M.; 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*. **CERNE**, v.11, n.2, p.178-186, 2005.

VALE, A.T.; DIAS, I.S.; SANTANA, M.A.E. Relação entre as propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.20, n.1, p.137-145, 2010.

VANHOLME, R.; MORREEL, K.; RALPH, J.; BOERJAN, W.; **Current Opinion in Plant Biology**, v.11, p.278-285, 2008.

WU, J.; FUKAZAWA, K.; OHTANI, J. Distribution of syringyl and guaiacyl lignins in hardwoods in relation to habitat and porosity form in wood. **Holzforschung**, v.46, n.3, p.181-185, 1992.