

Potencial de híbridos de *Corymbia* para produção de carvão vegetal destinados a indústria de ferro ligas

Samuel Fernandes de Souza¹; Angélica de Cássia Oliveira Carneiro¹

Laboratório de Painéis e Energia da Madeira¹; Universidade Federal de Viçosa¹

Resumo: Os clones híbridos de *Corymbia* têm tido uma procura muito grande ultimamente, principalmente no âmbito do melhoramento genético, sendo um gênero com grande potencial tecnológico. Assim, objetivou-se avaliar as propriedades da madeira e carvão vegetal, de híbridos de *Corymbia citriodora* x *Corymbia torelliana*, para o uso como termorreduzidor. Foram avaliados 3 clones em dois espaçamentos de plantio, 3x2m e 3x3m, aos 4 anos de idade. Determinou-se as propriedades da madeira e do carvão vegetal produzidos em mufla. Dentre os materiais genéticos analisados, o clone AM07 foi o que teve maior potencial, com alta densidade básica, rendimento gravimétrico em carvão vegetal, além de menor teor de fósforo e perda de massa.

Palavras-chave: *Corymbia*; Potencial tecnológico; Termorreduzidor.

Potential of *Corymbia* hybrids for charcoal production aimed at the ferroalloy industry

Abstract: Hybrid clones of *Corymbia* have been in high demand recently, particularly in the field of genetic improvement, as they are a genus with great technological potential. Thus, the objective was to evaluate the properties of the wood and charcoal of hybrids of *Corymbia citriodora* x *Corymbia torelliana* for use as a thermo-reducer. Three clones were evaluated at two planting spacings, 3x2m and 3x3m, at four years of age. The properties of the wood and the charcoal produced in a muffle furnace were determined. Among the genetic materials analyzed, the clone AM07 showed the greatest potential, with high basic density, gravimetric yield in charcoal, as well as lower phosphorus content and mass loss.

Keywords: *Corymbia*; Technological potential; Thermo-reducer.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores e consumidores de carvão vegetal do mundo com potencial para aumentar a produção, sendo a matéria-prima insumo que substitui

aqueles de origem fósseis, diminuindo a emissão de GEEs (gases de efeito estufa) na siderurgia. Cerca de 6,9 milhões de toneladas de carvão vegetal foram obtidos a partir da madeira de florestas plantadas em 2022, o que representa um aumento de 15% nos últimos 5 anos (IBÁ 2023).

O mercado busca opções viáveis por meio do melhoramento genético, como é o caso atual do gênero *Corymbia*. Ainda que apresentassem uma alta taxa de crescimento e alta densidade, os híbridos do gênero *Corymbia* foram deixados de lado em função do sucesso de outros híbridos como *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. Mas, na última década os híbridos de *Corymbia* voltaram a ter papel de destaque na indústria de biomassa com aspectos que os torna um dos mais competitivos no mercado. Além das propriedades tecnológicas interessantes, tem bom comportamento contraventos e apresenta maior resistência contra patógenos e doenças (Valente, 2017).

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones híbridos de *Corymbia* visando seu uso na indústria siderúrgica, sobretudo a produção de ferro ligas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Características dos clones e área de estudo

A presente pesquisa foi realizada em parceria com a empresa Maringá, no município de Itapeva, São Paulo. A implantação do experimento, em campo, foi realizada em abril de 2016.

Tabela 1 – Clones de *Corymbia* utilizados no estudo

Tratamentos	Clone	Espaçamento	Material Genético
1	AM 03	3 x 2	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>
2	AM 04	3 x 2	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>
3	AM 04	3 x 3	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>
4	AM 07	3 x 3	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>

Foram selecionadas três árvores de diâmetro médio para cada um dos três clones de *Corymbia citriodora* x *Corymbia torelliana*, sendo que o clone AM 04 foi analisado em dois espaçamentos diferentes, totalizando 12 árvores (amostras). A seleção foi feita excluindo-se as árvores que tinham defeitos visuais e aquelas que estavam nas bordas.

O experimento foi conduzido no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira – LAPEM, do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa – UFV em parceria com a Empresa Maringá.

2.2. Caracterização da madeira, carvão e marchas de carbonização

Na Tabela 2, foram relacionadas caracterização da madeira e carvão e suas respectivas normas específicas.

Tabela 2 – Normas e procedimentos utilizados na caracterização da madeira e carvão

Propriedade	Norma/Procedimento
Amostragem discos	De cada árvore foram retirados seis discos de 5 cm de espessura, correspondentes a 6 alturas na árvore. De cada disco, retirou-se cunhas opostas para as análises, realizadas no sentido base-topo.
Densidade básica	NBR 11.941 (ABNT, 2003)
Relação cerne/alburno	Evangelista (2010)
Teor de fósforo da madeira	Procedimentos internos do Laboratório de Solos Florestais/UFV.
Composição química imediata	NBR 8112 (ABNT, 1986)
Poder calorífico superior da madeira	ABNT NBR 8633 (ABNT, 1984)
Permeabilidade	Teixeira (2015)
Teor de lignina	Gomide e Demuner (1986); Goldschimid (1971)

Para carbonização, foram retiradas amostras de cada disco ao longo da altura comercial da árvore, obtendo-se uma amostra composta. Esta amostra foi, então, seca em estufa, a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$, por 24 horas, até massa constante. Foram feitas duas carbonizações por árvore.

As carbonizações foram realizadas em um forno elétrico tipo mufla, utilizando-se aproximadamente de 350 g de madeira, que foram inseridas em um recipiente metálico com dimensões nominais de 0,3 m de comprimento, 0,12 m de diâmetro e

um volume de aproximadamente 0,003m³. O controle de aquecimento foi feito manualmente, com incrementos de 50°C a cada 60 minutos, o que corresponde a uma taxa de aquecimento média de 1,67°C.min⁻¹. A temperatura inicial foi de 150°C e a temperatura final de 450°C, permanecendo estabilizada por um período de 60 minutos quando atingiu 400°C e mais 60 minutos quando chegou aos 450°C, sendo, portanto, o tempo de carbonização de 6,5 horas. Os gases condensáveis foram recuperados por meio de um condensador tubular adaptado à porta da mufla.

A análise termogravimétrica da madeira foi realizada com amostras previamente selecionadas que passaram pela peneira com malha de 40 mesh e ficaram retidas na peneira de 60 mesh (ASTM, 1982). As análises foram realizadas no aparelho DTG-60H, Shimadzu, sob atmosfera de gás nitrogênio, a uma vazão constante de 120 ml.min⁻¹. Calculou-se, a massa residual na temperatura de 400°C.

Para a análise estatística descritiva, realizou-se análises das propriedades da madeira e do carvão vegetal utilizando o software R versão 3.4.3 (R Core Team, 2021). Realizou-se a análise de variância e quando se observou efeitos significativos, aplicou-se o teste Tukey, a 95% de probabilidade para realização das comparações multiplicas entre os materiais genéticos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Propriedades da madeira

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios das propriedades da madeira em função do tratamento.

Tabela 3 – Propriedades da madeira de clones de *Corymbia*

Tratamento	Propriedades madeira					Teor lignina (%)
	Relação cerne/alburno	Permeabilidade cerne (cm ³ /cm.atm.s)	Permeabilidade alburno (cm ³ /cm.atm.s)	Densidade básica (g/cm ³)	Teor fósforo (dag/kg)	
T1/AM 03	0,24 c	121,89 a	453,29 a	0,593 ab	0,0163 ab	28,07 a
T2/AM 04	0,31 bc	113,77 ab	442,19 a	0,557 b	0,0140 bc	27,54 a
T3/AM 04	0,50 a	108,23 b	439,40 a	0,600 a	0,0190 a	29,32 a
T4/AM 07	0,32 bc	89,9 c	461,10 a	0,623 a	0,0120 c	29,00 a

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 95% de probabilidade.

A permeabilidade depende da porosidade, mas nem todo corpo poroso é permeável, principalmente em madeira, visto que a região do cerne, para a maioria das espécies ou gêneros são muito mais impermeáveis em relação ao alburno, bem como o teor de extrativos e as características dos elementos anatômicos. Logo estudar permeabilidade, a qual afeta diretamente a secagem da madeira e a geração de finos na produção de carvão vegetal se torna muito importante.

As madeiras provenientes dos híbridos de *Corymbia* são mais permeáveis que as do gênero eucalipto, onde a permeabilidade do alburno chega a ser, em média, 4 vezes maior em relação ao cerne.

Menores razões C/A são necessárias especialmente para reduzir a geração de finos, pois os gases produzidos durante a carbonização têm dificuldade de migrar do interior para a superfície da madeira, notadamente no cerne, devido à sua baixa permeabilidade (Silva; Trugilho 2001), o que pode aumentar a produção de gases e a pressão interna na madeira durante a carbonização. De modo geral, nota-se que os valores obtidos neste estudo para os clones de *Corymbia* foram em média 20% mais densos que os valores, geralmente, observados para madeira de eucalipto. Nota-se os clones AM04, independente do espaçamento, foram mais densos em relação aos demais avaliados neste estudo.

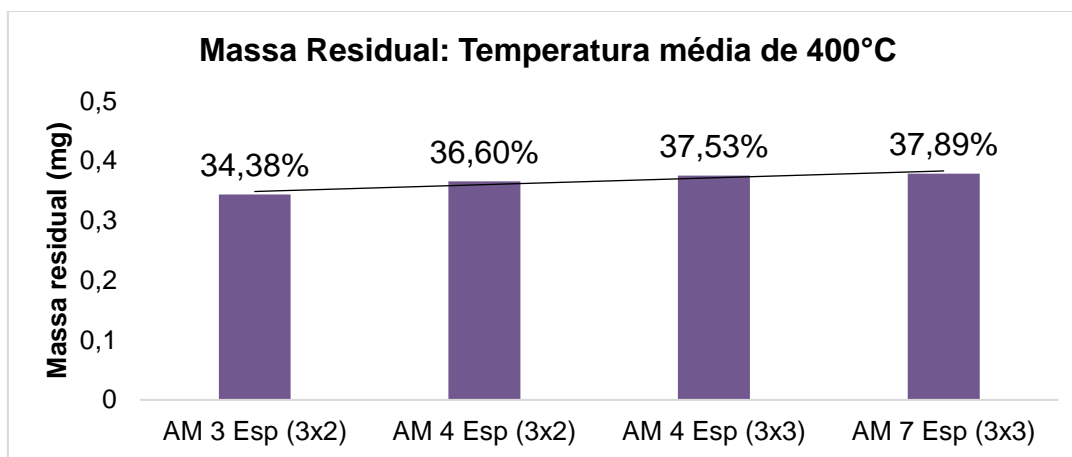
Quando o carvão vegetal se destina à produção de alguns tipos de ferroligas ou de carbureto de cálcio, a presença de alguns componentes minerais é indesejável, a exemplo do fosforo, que pode ocasionar ligas metálicas mais quebradiças, menos maleáveis e com campos favoráveis à propagação de trincas e fissuras. O fósforo faz as pedras de carbureto quebradiças, reduzindo a sua granulometria e tornando-as impróprias para a produção de materiais como o PVC (Vital et al, 1989).

Observa-se que todos os clones *Corymbia*, tiveram altos teores de fósforo na madeira, variando de 0,012 a 0,019 dag/kg, os quais, provavelmente, atenderiam apenas as empresas com teores máximos permitidos de 0,018 e 0,0260 dag/kg (Melo, 2018).

3.2. Degradação térmica da madeira

Na figura 1 estão apresentados os valores médios de massa residual da madeira após a degradação térmica até a temperatura final de 400°C.

Figura 1 – Massa residual da após a degradação térmica da madeira a temperatura de 400°C



Os valores observados para a massa residual a 400°C variaram de 34,38 a 37,89%. Segundo Melo (2013), a massa residual da análise termogravimétrica apresenta uma correlação direta com o rendimento gravimétrico em carvão vegetal, onde os materiais genéticos mais resistentes a degradação térmica apresenta um maior rendimento em carvão.

Nota que o clone AM 03 foi o material genético que teve a maior perda de massa, ou seja, apresentou a menor massa residual final, o qual teve também o menor rendimento gravimétrico em carvão vegetal, principalmente em função do menor teor de lignina.

3.3. Rendimento gravimétrico e propriedades do carvão vegetal

Na tabela 4 são apresentados os valores médios de rendimento e propriedade do carvão vegetal em função dos tratamentos.

Tabela 4 – Propriedades do carvão de clones de *Corymbia*

Tratamento	Propriedades carvão		
	Carbono fixo (%)	Cinzas (%)	Rendimento gravimétrico (%)
T1/AM 03	73,01 a	2,79 b	33,67 a
T2/AM 04	73,89 a	2,00 b	33,71 a
T3/AM 04	72,17 a	4,19 a	33,86 a
T4/AM 07	72,74 a	4,03 a	33,98 a

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 95% de probabilidade.

O teor de carbono fixo do carvão do material variou de 72,17 a 73,89%, com média de 72,95%, não observando diferenças significativa entre os tratamentos.

Observa-se que o teor de cinzas dos carvões vegetais dos clones de *Corymbia* foram significativamente maiores que os observados na literatura para clones de eucalipto, que geralmente, variam de 0,7 a 2,0% (Couto, 2015). Destaca-se que os clones foram colhidos na idade de quatro anos, e, de modo geral, com o incremento da idade há uma redução na taxa de crescimento e conseqüentemente na quantidade de cinzas totais. Os clones 04, independente do espaçamento, tiveram os maiores teores de cinzas, sendo esses significativamente diferentes dos demais.

A lignina apresenta uma alta resistência à degradação térmica, devido a presença de maior número de ligações C-C e C=C em sua estrutura, além de apresentarem alta percentagem de carbono elementar e baixo teor de oxigênio, quando comparados à holocelulose (Haykiri-acma et al., 2010). Portanto, foi esperado uma relação direta entre o teor de lignina e o rendimento gravimétrico em carvão vegetal, comportamento observado principalmente entre os clones AM03 e AM07, sem diferença significativa.

4. CONCLUSÃO

Todos os clones híbridos de *C. citriodora* x *C. torrelliana* avaliados têm alta densidade básica, acima de 593 kg/m³;

Os clones AM4 tiveram os maiores teores de cinzas em relação aos demais. No entanto, salienta que embora os clones tenham apresentado teores de cinza do carvão acima dos 2% recomendados para siderurgia, esperam-se que tais valores tendem a diminuir nas árvores com avanço da maturidade delas, em função da diminuição da atividade fisiológica da árvore com a idade.

O rendimento gravimétrico e o teor de carbono fixo do carvão vegetal não foram afetados pelo clone e espaçamento de plantio.

Quando considerado o conjunto de propriedades para produção de carvão o clone AM07 destacou-se e, em contrapartida, o clone AM03 apresentou propriedades inferiores às dos demais.

5. AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível

Superior – Brasil (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Universidade Federal de Viçosa (UFV), ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF/UFV), à empresa Maringá, à Sociedade de Investigações Florestais e a EMBRAPPII (Unidade Fibras Florestais).

6. REFERÊNCIAS

- COUTO, Allan Motta et al. **Qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus* e *Corymbia* produzido em diferentes temperaturas finais de carbonização**. 2015.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – **IBÁ**. 2023. Relatório 2023: ano base 2022. 2023, 91p.
- EVANGELISTA, W.V.; SILVA, J.C.; VALLE, M.L.A.; XAVIER, B.A. **Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake**. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 273-284, jun. 2010.
- GOLDSCHIMID O. **Ultraviolet spectra**. In: K.V. SARKANEN, C.H. LUDWING, (Eds) Lignins, New York: Wiley Interscience. 1971, 241-266.
- GOMIDE J. L.; DEMUNER B. J. **Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado**, O Papel 47, 1986, 36-38.
- HAYKIRI-ACMA, H.; YAMAN, S.; KUCUKBAYRAK, S. **Comparison of the thermal reactivities of isolated lignin and holocellulose during pyrolysis**. Fuel Process. Technol., v.91, 2010, p.759–764.
- MELO, I.C.N.A. **Propriedades da madeira e do carvão vegetal em clones de híbridos de *Eucalyptus* cultivados em diferentes ambientes**. 2013. 106p. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- TEIXEIRA, R. U. **Efeito da produtividade florestal e permeabilidade da madeira de *Eucalyptus* spp. na velocidade de secagem**. Dissertação de mestrado, 2015. UFV. 47.
- TRUGILHO, P.F.; SILVA, D.A. da. **Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de Jatobá (*Himenea courbaril* L.)** Scientia Agraria, Piracicaba, v.2, n. ½, p.45-53, 2001.
- VITAL, B.R.; ANDRADE A.M.; VALENTE, O.F.; CAMPOS, J.C.C. **Influência da casca no rendimento e na qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis* IPEF**. n.41/42, p.44-49, jan./dez.1989.

