

Rendimento e qualidade do carvão produzido pela carbonização em um novo forno metálico.

Riccardo Loffredo

Joubert Alexandro Machado

Washington Luiz Esteves Magalhães

Edson Alves de Lima

RESUMO

Foram caracterizados carvões produzidos em um forno metálico construído pela Embrapa Florestas e assim verificar as variáveis que influenciam na qualidade e rendimento do carvão. Neste equipamento, o calor necessário para a carbonização foi gerado em uma fornalha externa ao reator pela queima de lenha de eucaliptos e pinus. O carvão vegetal foi obtido pela carbonização da madeira de *Eucalyptus dunni* no interior do reator, e que, portanto, não sofreu combustão, apenas pirólise. Algumas amostras de madeira receberam um pré-tratamento com carbonato de potássio (K_2CO_3). O rendimento e a qualidade do carvão foram medidos. A qualidade foi avaliada através do poder calorífico superior e da análise imediata, que consiste em analisar os teores de cinzas, voláteis, carbono fixo e de umidade. O teor de cinzas ficou entre 0,7 e 5,6 %, sendo os valores mais elevados obtidos para amostras impregnadas com carbonato de potássio. A qualidade do carvão variou em função da temperatura e da taxa de aquecimento da carbonização.

ABSTRACT

Charcoal were produced in a metallic kiln built by Embrapa Florestas and analyzed so was able to verify the varies that influences the quality and the yield of charcoal. In this equipment, the heat needed to the carbonization was generate in an external oven by burning firewood from eucalyptus and pinus. The charcoal was produced by the carbonization of *Eucalyptus dunni* inside the kiln, that didn't suffered combustion, only pyrolysis. Some samples received a pre-treatment with potassium carbonate (K_2CO_3). The charcoal's yield and quality were measured. The quality were evaluated by doing the calorific power analyze and the proximate analysis, which consists in analyze the ashes, volatiles, fixed carbon and humidity's contents. The ashes' content stayed between 0,7 and 5,6 %, the highest values obtained were from potassium carbonate impregnated samples. Charcoal's quality varied in function of temperature and the carbonization heating rate.

INTRODUÇÃO

O carvão é uma importante fonte de energia no Brasil, sendo o país que mais produz e consome carvão vegetal no mundo (BASTOS FILHO, 1986). A maior parte do carvão produzido é destinada às indústrias siderúrgicas. O carvão pode ser produzido através do processo de carbonização da madeira, que é considerado um processo artificial, obtendo o carvão vegetal, ou pelo processo natural denominado encarbonização, onde a temperatura terrestre exerce forte influência em materiais orgânicos, principalmente nos vegetais, formando o carvão mineral (BARCELLOS, 2004).

Além de ser uma fonte renovável de energia, o carvão possui outras qualidades: não possui enxofre nem mercúrio em sua composição, possui baixa porcentagem de nitrogênio, é

altamente reativo e de fácil manuseio e armazenamento. Além dos aspectos positivos em relação ao meio ambiente a produção de carvão vegetal tem um papel sócio-econômico muito importante no país. O aspecto econômico está relacionado com a diminuição da importação de carvão mineral, e o papel social fundamenta-se na geração de empregos graças às atividades de manejo florestal e nas carvoarias (BASTOS FILHO, 1986). Entretanto, quase toda produção de carvão realizada no país é feita de forma primitiva diminuindo a qualidade do carvão e contribuindo para o desperdício de matéria prima. Além de perder energia para o meio ambiente e emitir gases de efeito estufa.

O carvão vegetal é produzido através da carbonização da madeira, que consiste em submeter a madeira a um tratamento térmico em um ambiente com a atmosfera controlada. É importante ressaltar que o processo de carbonização ocorre através da relação entre temperatura e tempo. Esses dois fatores devem estar em sintonia para que se obtenha um carvão de qualidade (OLIVIEIRA, 1982), por isso o estudo aprofundado nas taxas de aquecimento do forno é de grande importância para que se tenha o maior rendimento com boa qualidade do carvão.

O objetivo foi avaliar a qualidade do carvão obtido em diferentes condições de operação do reator metálico construído a fim de escolher a melhor condição de operação do reator, assim como, sugerir futuras modificações.

MATERIAL E MÉTODOS

A espécie de madeira escolhida para a carbonização foi *Eucalyptus dunni* com sete anos de idade.

Para realizar a carbonização da madeira, foi construído pela Embrapa Florestas um forno metálico isolado com tijolos refratários para minimizar a perda de calor gerado pela queima de madeira, representado na Figura 1.

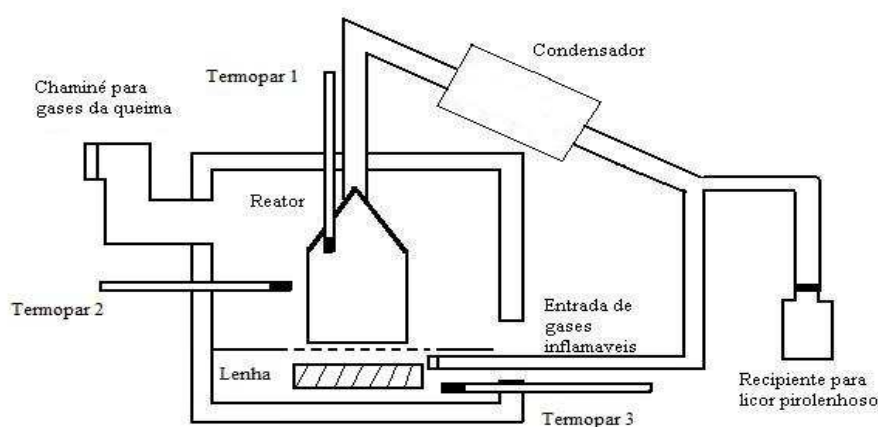


Figura 1: representação do forno metálico.

Foram utilizadas duas espécies de madeira para queima: *Eucalyptus dunni* e *Pinus taeda*. O motivo da escolha de duas espécies diferentes foi verificar a influência exercida na taxa de aquecimento e nas características do carvão obtido.

O Tabela 1 indica qual madeira foi utilizada para produção do carvão e qual espécie foi usada para queima.

Tabela 1 – Tratamentos com e sem impregnação e madeira utilizada para aquecimento do reator

Tratamentos	Madeira carbonizada	Madeira para queima
Tratamento 1	<i>Eucalyptus dunni</i>	<i>Eucalyptus dunni</i>
Tratamento 2	<i>Eucalyptus dunni</i>	<i>Pinus taeda</i>
Tratamento 3	<i>Eucalyptus dunni</i> + K ₂ CO ₃	<i>Eucalyptus dunni</i>
Tratamento 4	<i>Eucalyptus dunni</i> + K ₂ CO ₃	<i>Pinus taeda</i>

As amostras de madeira a serem carbonizadas foram secas em estufa antes de iniciar o processo de carbonização. Em dois tratamentos, as amostras receberam um pré-tratamento com carbonato de potássio (K₂CO₃). A massa de madeira colocada no forno variou de 1400 a 1500g, assim logo após cada carbonização a massa de carvão produzido era pesada para verificar o rendimento do forno.

Tabela 2 – porcentagem de K₂CO₃ impregnado na madeira.

Tratamento	Madeira	Massa de K ₂ CO ₃ (%)
3	<i>Eucalyptus dunni</i> + K ₂ CO ₃	0,80 %
4	<i>Eucalyptus dunni</i> + K ₂ CO ₃	1,19 %

Após cada carbonização, uma pequena amostra do carvão produzido foi moída em um moinho Willey para a realização das análises de caracterização. A análise imediata das amostras, que consiste na determinação dos teores de cinzas, de voláteis, de carbono fixo e de umidade, foi realizada seguindo a norma NBR 8112 – Carvão vegetal – Análise Imediata. Já as análises de poder calorífico foram feitas seguindo a norma NBR 8633 – Carvão vegetal – Determinação do poder calorífico. As determinações de caracterização foram realizadas em duplicata.

O calorímetro utilizado foi IKA- Werke modelo C5003. Todas as análises foram realizadas na Embrapa Florestas e a balança utilizada na pesagem das amostras foi Shimadzu modelo AY220 com precisão de 0,1 mg.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento indica que a produção de carvão no forno foi eficiente (Tabela 3), já que os sistemas tradicionais de produção de carvão possuem um rendimento entre 25 e 33% (BARCELLOS, 2004). Os tratamentos que foram carbonizadas usando-se como fonte de energia para a combustão *Pinus taeda* obtiveram maiores rendimentos dos carvões. Observa-se que a impregnação com K₂CO₃ não exerceu influência nos rendimentos. Os valores encontrados para o teor de umidade (Tabela 3) variaram em função do perfil de temperatura dentro do reator.

Tabela 3 – Rendimento gravimétrico e umidade do carvão em função dos tratamentos

Tratamento	Rendimento gravimétrico (%)	Teor de umidade (%)
1- <i>Eucalyptus dunni</i>	40	2,46 ± 0,08
2- <i>Eucalyptus dunni</i>	44	1,99 ± 0,05
3- <i>Eucalyptus dunni</i> + K ₂ CO ₃	32	3,08 ± 0,06
4- <i>Eucalyptus dunni</i> + K ₂ CO ₃	45,5	1,86 ± 0,10

Nas figuras abaixo, estão os perfis de temperatura para o reator. Para cada Figura estão representadas as três leituras dos termopares localizados no forno metálico, conforme indicados pelas Figuras.

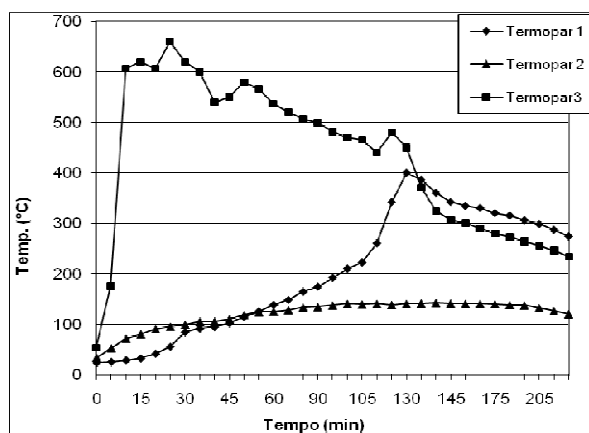


Figura 1: Taxas de aquecimento no tratamento 1.

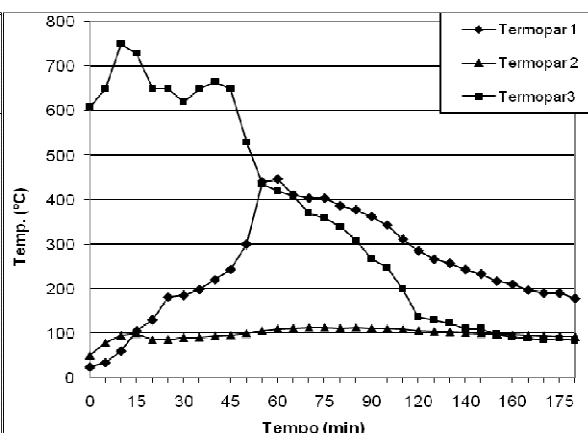


Figura 2: Taxas de aquecimento no tratamento 2

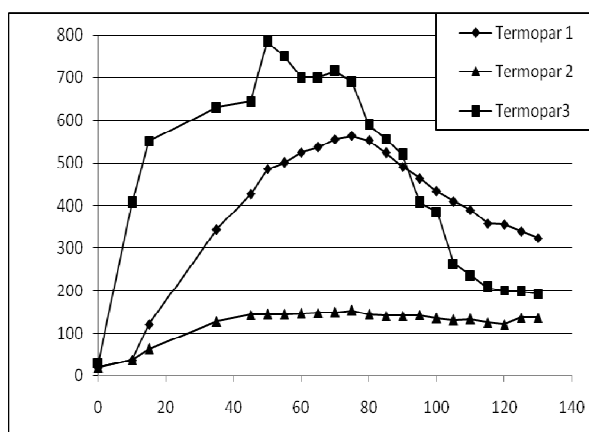


Figura 3: Taxas de aquecimento no tratamento 3

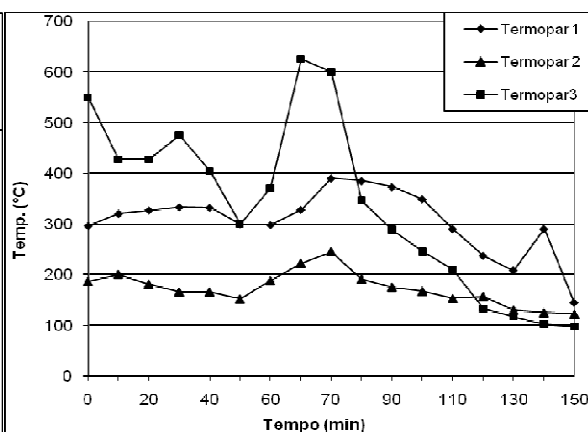


Figura 4: Taxas de aquecimento no tratamento 4

Nas Figuras 2 e 4 estão representadas as amostras que foram queimadas utilizando *Pinus taeda*. Nota-se que houve um aumento linear da temperatura no termopar 1, localizado dentro do reator. Nas Figuras 1 e 3 estão representadas as amostras que foram queimadas utilizando *Eucalyptus dunni*. Observa-se que estas amostras atingiram a temperatura máxima em menos tempo do que a queima realizada com *Pinus taeda* que se mostrou mais uniforme.

(FOLEY, 1986) determinou que o teor de cinzas de um carvão de boa qualidade varia entre 0,5-5 %. Observando os valores obtidos em todas as amostras (Tabela 3), vemos que apenas uma amostra não está dentro dessa margem. Na amostra 3 o teor de cinzas foi maior em relação às outras amostras, o que se deve ao fato de que a madeira que foi submetida ao perfil de temperatura proveniente da combustão da madeira de *Eucalyptus dunni*.

Tabela 3 – Efeito da impregnação e perfil de aquecimento do reator sobre a análise imediata e poder calorífico do carvão

Tratamento	Cinzas (%)	Voláteis (%)	Carbono fixo (%)	Poder calorífico (MJ/kg)
1- <i>Eucalyptus dunni</i>	3,40 ± 0,06	31,74 ± 0,03	64,86 ± 0,03	29,30 ± 0,08
2- <i>Eucalyptus dunni</i>	0,96 ± 0,01	27,49 ± 0,06	71,53 ± 0,06	28,53 ± 0,16
3- <i>Eucalyptus dunni</i> + K ₂ CO ₃	5,62 ± 0,05	20,70 ± 0,10	73,67 ± 0,04	30,25 ± 0,15
4- <i>Eucalyptus dunni</i> + K ₂ CO ₃	0,76 ± 0,01	36,40 ± 0,14	62,82 ± 0,15	27,24 ± 0,03

Os valores dos teores de voláteis presentes em cada tratamento apresentaram grande variação, isso se deve ao fato de que as taxas de aquecimento durante a carbonização não foi a mesma, já que a temperatura final e a taxa de variação da temperatura exercem grande influência no teor voláteis do carvão (OLIVIEIRA, 1982). O menor teor de voláteis está diretamente relacionado a maior temperatura final de carbonização, pois quanto maior essa temperatura maior a evolução dos carbonos menos estáveis. Os carvões que possuem maiores teores de voláteis foram produzidos através de um processo de carbonização em que a temperatura final era mais baixa. Os carvões com teores de voláteis variando entre 20-40 % são mais indicados para utilização culinária. (FOLEY, 1986) indica que a utilização do carvão vegetal em indústrias siderúrgicas apresenta porcentagem de voláteis entre 10-15 %.

Como o cálculo para se obter o teor de carbono fixo é: $yCf = 100 - (yc + yV)$, onde yCf é teor de carbono fixo, yc é teor de cinzas e yV teor de voláteis, quanto maior a temperatura maior será o teor de carbono fixo. O tratamento com maior teor de carbono fixo (73,67 %) recebeu um pré-tratamento com carbonato de potássio e a energia para carbonização foi obtida pela queima da madeira de *Eucalyptus dunni*.

Para os tratamentos com pré-tratamento percebe-se que com a impregnação de 1,19 % de carbonato de potássio apresentaram menores resultados para as análises de cinzas, umidade e poder calorífico. Já as amostras que absorveram 0,8 % de carbonato apresentaram maior poder calorífico e menor teor de voláteis. Pode -se concluir com isso que quanto maior a quantidade de carbonato impregnado na madeira menor a qualidade do carvão para a queima.

O poder calorífico (Tabela 3) mostrou forte correlação com o rendimento gravimétrico da carbonização. No tratamento 1, onde o rendimento foi de 40 %, o poder calorífico do carvão foi de 29,30 MJ/kg. Quando a carbonização do tratamento 3 teve um rendimento de 32 % , o poder calorífico aumentou para 30,25 MJ/kg. No tratamento 2, o rendimento foi de 44 % e o poder calorífico foi 28,53 MJ/kg, e no tratamento 4, onde se obteve o maior rendimento, o poder calorífico teve o menor valor encontrado que foi de 27,24 MJ/kg. As carbonizações que tiveram um rendimento entre 32-40% apresentaram maiores valores de poder calorífico.

Com relação ao teores de cinzas e carbono fixo, o rendimento exerceu uma relação inversamente proporcional. Em relação ao teor de cinzas, o tratamento 1 que teve um rendimento de 40 %, o valor encontrado para cinzas foi de 3,40 %, enquanto no tratamento 3 que teve um rendimento de 32 %, o teor de cinzas aumentou para 5,62 %.

CONCLUSÃO

A variação da temperatura no processo depende da espécie de madeira usada para aquecimento do reator/amostra. Quando se utiliza *Pinus taeda* na queima, nota-se que o rendimento da carbonização aumenta.

Quando a madeira utilizada para carbonização recebeu impregnação com carbonato de potássio, o poder calorífico diminuiu, pode-se concluir com isso que quanto maior a quantidade de carbonato impregnado na madeira menor a qualidade do carvão para a queima. O teor de umidade aumentou quando se utilizou *Eucalyptus dunni* para queima e diminuiu quando se queimou *Pinus taeda*.

Os teores de cinza foram aceitáveis mesmo quando a madeira precursora foi impregnada com carbonato de potássio.

O processo de carbonização com menor rendimento originou carvão com maiores poder calorífico superior e teor de carbono fixo.

Agradecimentos

À Química Tiélidy Angelina de Moraes de Lima pelo apoio nas caracterizações químicas e impregnação das amostras. Ao CNPq pela bolsa produtividade conferida à WLEM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8112** – Carvão vegetal – Análise Imediata, 1981

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. , **NBR 8633** – Carvão vegetal – Determinação do poder calorífico, 1981

ANTAL, M. J. Jr. **The art, science, and Technology of Charcoal Production**, 2003

BARCELLOS, D. C. **Desempenho de um forno de carbonização semi-contínuo tipo container para produção de carvão vegetal**, Revista Biomassa e Energia Renabio, 1, n.2, p. 183-189, 2004

BASTOS FILHO, J.G. **Desenvolvimento de um forno metálico para carbonização da madeira**, Revista Árvore, 10, n.1, p.44-59,1986

OLIVIEIRA, J. B. CETEC, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Produção de carvão vegetal – aspectos técnicos**, p. 59-73, 1982