



Aumento no Rendimento de Carvão Vegetal da Casca de Arroz por Meio da Carbonização Pressurizada a 2 bar.

Igor Alberto Silva Gomes¹, Marcos Enê Chaves Oliveira², Carlos Alberto Gurgel Veras³, Iúry Vinícius Winckler Colatto⁴

¹Laboratório de Agroindústria/ Embrapa Amazônia Oriental / igor@cpatu.embrapa.br

²Laboratório de Agroindústria/ Embrapa Amazônia Oriental/ meneov@cpatu.embrapa.br

³Departamento de Engenharia Mecânica / Universidade de Brasília/ gurgel@unb.br

⁴Laboratório de Energia e Ambiente / Universidade de Brasília / iuryvwc@gmail.com

Resumo

Inicialmente abundante, a lenha foi responsável, até a primeira metade do século XX, por mais de 50% da oferta de energia no país, sendo utilizada diretamente como combustível para fins domésticos e industriais e também para a produção de carvão vegetal.

O carvão vegetal é um importante insumo, empregado largamente em alguns setores industriais no Brasil. A maior parte do carvão vegetal produzido é utilizada na indústria siderúrgica e apresenta características como pureza e reatividade, que lhe conferem um alto preço como redutor metalúrgico de alguns metais. No Brasil, a indústria de carvão vegetal alcançou maturidade a partir dos anos de 1960, com picos de produtividade em 1989, contabilizando 44,8 milhões de m³, declinando para 25,4 milhões de m³ no ano de 2000. Tais números demonstram a importância desta atividade produtiva na economia brasileira.

Esse trabalho teve o objetivo de estudar o efeito da pressão positiva aplicada ao processo de carbonização de biomassa em reator de leito fixo. Foram realizados testes a pressão atmosférica para comparação. Foram processadas cascas de arroz. Os experimentos foram realizados em um reator especialmente modificado para operar pressurizado. As modificações consistiram da adaptação de uma entrada para a resistência elétrica em cartucho como fonte de aquecimento, construindo um vaso com tampa para a contenção da biomassa e melhor distribuição do calor. A biomassa foi processada e realizou-se teste com pressão atmosférica e com taxa de aquecimento de 15 e 20°C/min e tempo de residência de 55 minutos e testes com serragem de eucalipto submetido a pressões de 2 bar, taxa de aquecimento de 15 e 20°C/min e tempo de residência de 95 minutos.

O ensaio encontrou-se a variação mássica, de 300 g a 114 g para serragem em pressão atmosférica. O experimento realizado com a casca de arroz, em regime de pressão positiva a 2 bar, obteve-se a variação mássica de 300g a 132g.

O rendimento a pressão atmosférica ficou em 38% de carvão vegetal e a carbonização em regimes de alta pressão aumentou o rendimento em 6% com pressão de 2 bar.

Palavras-chave: Carvão vegetal, carbonização, alta pressão

Área Temática: Tema 9 - Energia.



Abstract

Biomass energy source is traditional in human history and in Brazilian Development. Until the first half of XX century. Charcoal was, and still is, an important solid source of energy largely used in some industrial sectors, such as siderurgy, where it has high value as a metal reductor. Charcoal Brazilian industry reached a solid base in the 60s, and a total 44.8 million cubic meters was the highest production in 1989, declining to only 25.4 million cubic meters in 2000, demonstrating clearly the impact of this kind of energy source in Brazilian energy matrix.

Considering this situation, the objective of this work was verify the effect of positive pressure applied to the carbonization process in fixed bed reactor. Rice husk processing was used in the experiments who were performed in a specially designed reactor modified to operate in high pressure conditions. In a first condition the material was processed in atmospheric pressure, a heating rate between 15oC and 20oC and 55 minutes of residence time. The second test condition was in the same heating rate but pressure was change to 2 bar and residence time was increased to 95 minutes. In the first condition biomass changed from 300 g to 114g. In the second condition, however, the mass decreased to 132g only.

This results indicated a 6% percent increase in carbonization yield using a pressure higher than atmospheric condition, justifying such operating condition.

Key words: charcoal, carbonization, high pressure

Theme Area: Theme 9 - Energy



1 Introdução

Os recentes acontecimentos no Japão, onde uma usina nuclear sofreu danos como consequência de um Tsunami, tem provocado intensas discussões quanto à segurança de usinas nucleares. Estes problemas têm motivado trabalhos científicos e desenvolvimento de processos de produção e transformação de novas fontes energéticas, que permitam suprir a crescente demanda por energia no mundo. Segundo Gómez, et al, 2008, a utilização mais intensa de energias renováveis como eólica, hidráulica, solar e aquela obtida a partir de biomassa se apresenta como alternativa de médio e longo prazo no longo processo de substituição de combustíveis fósseis.

O uso de fontes de energia alternativas aos combustíveis fósseis vem ganhando importância no Brasil e no mundo, notadamente após os choques no preço do petróleo da década de 70 e, mais recentemente, em virtude das preocupações com as mudanças climáticas. A utilização da biomassa, sobretudo da lenha, é antiga no Brasil. Inicialmente abundante, a lenha foi responsável, até a primeira metade do século XX, por mais de 50% da oferta de energia no país, sendo utilizada diretamente como combustível para fins domésticos e industriais e também para a produção de carvão vegetal.

Segundo Rosillo-Calle et al. (2005), um quinto de toda a energia mundial é gerado a partir de recursos renováveis, sendo de 13% a 14% a partir da biomassa e 6% a partir da água. Nas estimativas dos autores, a biomassa representa cerca de 25 milhões de barris de petróleo por dia (55 EJ/ano) sendo que nos países em desenvolvimento (3/4 da população mundial), a biomassa é a fonte de energia mais importante (33% do total) para seus habitantes.

Por biomassa vegetal entende-se a matéria vegetal produzida com auxílio da energia solar e alguns compostos químicos num processo conhecido como fotossíntese. Em última análise, carvão e petróleo podem ser considerados combustíveis de origem vegetal. Segundo Nogueira e Lora (2003), se aproveitássemos aproximadamente 1% do total da radiação solar incidente sobre a Terra ao longo de um ano, seriam produzidas cerca de 220×10^9 toneladas de biomassa (base seca), equivalente, em termos energéticos a 2×10^{15} MJ.

De um modo geral, a biomassa pode ser queimada diretamente, gerando energia térmica, ou, através de processos de conversão específicos, pode ser transformada em combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos. O trabalho de Rosillo-Calle et al. (2005) destaca que no Brasil, a indústria de carvão vegetal alcançou maturidade a partir dos anos de 1960, com picos de produtividade em 1989, contabilizando 44,8 milhões de m³, declinando para 25,4 milhões de m³ no ano de 2000. Tais números demonstram a importância desta atividade produtiva na economia brasileira.

Segundo Benites et al. (2010), o desenvolvimento de processos que permitam transformar o carvão e seus subprodutos em compostos com características mais apropriadas e com melhores rendimentos é altamente desejável e estratégico para o setor florestal brasileiro e a indústria siderúrgica. Um produto com tais características pode agregar valor ao carvão vegetal, tanto por criar um uso inovador para um produto tradicional, quanto por ser objeto de captação de recursos destinados ao mecanismo de desenvolvimento limpo.

Ainda segundo Benites et al. (2010), na busca de aprimoramento verifica-se que as diversas formas de emprego do processo de pirólise é uma alternativa econômica, que representa um benefício ambiental por incentivar a recuperação e utilização de todos os produtos gerados no processo, evitando os prejuízos por eles causados.

Neste contexto, o presente trabalho trata da conversão de biomassa, via carbonização em regime de pressão acima da atmosférica. Nesta conversão busca-se elevar o rendimento do carvão vegetal, quando este for o produto final de interesse na conversão da biomassa. Tais processos foram estudados num reator desenvolvido especificamente para este trabalho. Portanto, este estudo tem como objetivo principal verificar o aumento do rendimento de carvão vegetal em pressões acima da atmosférica.

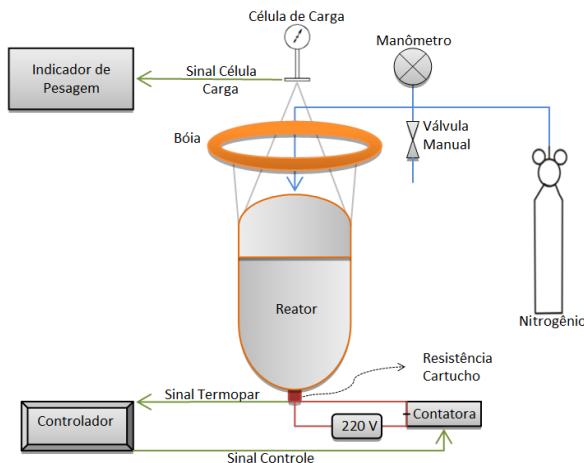


2 Materiais e métodos

2.1 Bancada de testes e metodologia empregada

Um desenho esquemático da bancada, na sua concepção final, pode ser vista na Figura 1.

Figura 1: Desenho esquemático da bancada experimental



Na realização dos ensaios em regime de alta pressão se dá com os seguintes passos:

1. A biomassa a ser utilizada foi separada e passou pelo primeiro processo de secagem natural, ao sol, durante 9 horas e logo em seguida passou pelo processo artificial, onde a biomassa foi colocada em estufa a temperatura de 102°C e mantida até que a sua umidade se aproximasse fosse inferior a 5%. Em seguida o material foi pesado e embalado em sacos de coletas.

2. O container do reator é carregado com a quantidade desejada de biomassa;
3. Fecho-se o reator com a tampa estrutural (hemisfério superior);
4. Injeta-se nitrogênio de purga e após alguns segundos regula-se a pressão interna, desejada, do reator por meio da válvula automática acoplada à garrafa de nitrogênio;
5. Início do aquecimento com uma rampa de subida da temperatura que não comprometa a resistência cartucho;
6. Realização do ensaio até o ponto em que não se verifica emissão de voláteis;
7. Desligamento da resistência elétrica;
8. Esfriamento natural do reator;
9. Abertura do reator, verificação visual do carvão vegetal e pesagem deste;
10. Limpeza do sistema

2.2 Planejamento dos ensaios

Os experimentos foram realizados partindo-se da pirólise lenta a baixas temperaturas, em leito fixo, utilizando-se como substrato a casca de arroz. Os ensaios foram divididos em quatro etapas. Na primeira etapa testaram-se os isolamentos internos, verificando se o reator perderia calor para o meio.

Na segunda etapa verificou-se, se o reator suportaria pressões de 2 bar. Na terceira etapa realizaram-se processos de pirólise em temperaturas de 450 e 500°C. Na quarta e último passo, realizou-se o processo de pirólise sob alta pressão as custas do sistema de pressurização proposto.

2.3 Controle de temperatura

Para manter o reator operando em altas temperaturas, com pouca perda de energia para o meio, durante o processo de pirólise, isolou-se o contêiner com argamassa refratária,



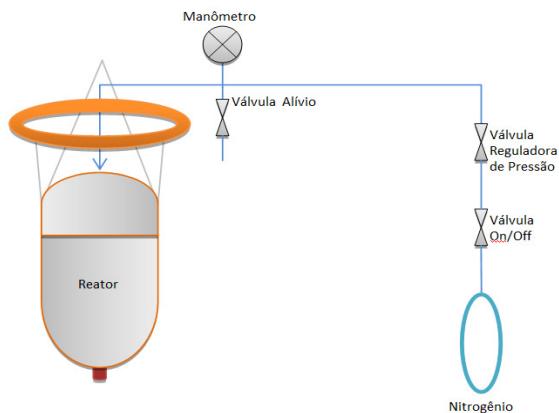
inicialmente. Algumas questões operacionais ocasionaram posterior mudança neste tipo de isolamento, que foi alterado para lã de vidro.

Com o isolamento térmico ajustado, o reator foi abastecido com limalha de ferro para aferição do sistema num teste de aquecimento com incrementos de temperatura de 50°C com temperatura final de 600°C, com tempo total de 1 hora e 30 minutos. Na realização do teste, utilizou-se o termômetro digital infravermelho para aferir a temperatura na parte externa do reator. Neste teste, buscou-se verificar quais regiões não estavam isoladas adequadamente, na transferência de calor.

2.4 Controle de pressão

Para testar o reator sob alta pressão, foi acoplada uma tubulação a um compressor que injetou ar dentro do reator. Primeiramente buscou-se manter uma pressão de 2 bar. Neste teste, ocorreu um fluxo de saída de gases na região de fixação da resistência elétrica ao corpo do reator (parte inferior). Este fluxo auxiliou no controle de pressão dos gases, pela dificuldade em permitir a passagem do ar. A manutenção deste fluxo é essencial para manter o processo de purga por nitrogênio, quando nos ensaios de carbonização. Uma válvula posicionada na entrada do fluxo de ar permite reduzir a pressão caso o fluxo pela parte inferior seja alterado. Num ensaio com nitrogênio a recuperação do nível de pressão se dá automaticamente pela atuação da válvula redutora e controladora. No caso de elevação da pressão, esta deve ser reduzida pela abertura da válvula globo posicionada após a válvula controladora, servindo com válvula de alívio (manual) (Figura 2). Nestes testes preliminares, o reator operou com pressurização a ar por aproximadamente 1 hora e 30 minutos, tempo necessário para um ensaio real de carbonização sob alta pressão. Cabe lembrar que sendo o manômetro um indicador de pressão relativa, na carbonização, do ponto de vista termoquímico, a pressão a ser considerada será sempre somada de um bar (pressão absoluta).

Figura 2: Desenho esquemático da disposição das válvulas do sistema de pressurização



2.5 Ensaio de carbonização a pressão ambiente

Foram realizados diversos testes de pirólise com a biomassa escolhida, parte com pressão ambiente e sem purga com nitrogênio e alguns ensaios com pressões positivas e purga com nitrogênio. Nos ensaios sem purga, algumas regiões do reator seria possível ocorrer alguma oxidação. Contudo a emissão de voláteis tem início em temperaturas ligeiramente inferiores a temperatura de oxidação destes e do carvão produzido.

Inicialmente, os ensaios foram realizados com casca de arroz sem o reator estar totalmente fechado, ocorrendo alguma oxidação pela entrada de oxigênio no ambiente. Assim,



3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

a biomassa era colocada em contato direto com o isolamento térmico com uma tampa metálica comprimindo a biomassa, na parte superior.

No primeiro teste o reator foi abastecido com 350 g de serragem, o aquecedor foi ligado e com rampa de aquecimento aleatória, controlada de forma apenas a evitar danos na resistência, até esta atingir 450°C. A carbonização foi realizada até que não se visualizasse emissão de fumaça (voláteis). Esse primeiro teste durou aproximadamente nove horas. O aspecto do carvão vegetal produzido estava relativamente homogêneo, contudo pelo fato do reator ser adiabático, não se justificava esse longo tempo de carbonização.

No segundo teste o reator novamente foi abastecido com 350 g de casca de arroz a resistência elétrica foi ativada dessa vez com taxas de aquecimento de 15°C/min, até atingir a temperatura de 450°C. Buscou-se, nesta etapa, maior familiarização do processo para se verificar as possíveis causas do longo tempo na conversão. Assim, em intervalos de 30 minutos a tampa do container era levantada para se observar como se acomodava a biomassa com o progresso da carbonização, novamente com a entrada de oxigênio, algumas regiões da biomassa sofriam oxidação. Confirmou-se, que como esperado, a carbonização era gradativa do centro para a periferia (Figuras 3a e 3b). Esse teste teve duração de sete horas. Todavia, verificou-se que a biomassa não foi carbonizada por completo, havendo material apenas aquecido na periferia do reator.

Figura 3: Biomassa após uma hora de carbonização (a), biomassa após três horas de carbonização (b).



O terceiro teste o reator foi abastecido com 400 g de casca de arroz e empregou-se a tampa de argamassa refratária (parte superior do reator). A resistência elétrica foi acionada com rampas de aquecimento de 15°C/min até atingir a temperatura de 450°C, com cinco horas de tempo de residência. Após esse período a tampa foi retirada e com auxílio de uma barra de ferro o material foi revolvido, sendo liberada uma grande quantidade de fumaça que estava retida em lacunas no meio da biomassa. O material em contato com a resistência elétrica se encontrava incandescente (Figura 4), devido ao fluxo de gases na parte inferior da resistência, onde localizam-se os furos passantes dos parafusos. Neste caso, observou-se que uma grande quantidade de biomassa ficava retida nas paredes do isolamento térmico, pelo fato destas serem ásperas, dificultando a movimentação do material.

Figura 4: Resistência incandescente



O quarto e quinto testes foram realizados com o reator totalmente fechado, com um carregamento de 300 g de casca de arroz e aquecimento sendo realizado com taxas de 20°C/min e tempo de residência de três horas. A cada hora impactava-se o reator com um pequeno martelo de forma a remover a biomassa carbonizada. Neste contexto, os testes foram considerados satisfatórios quanto ao tempo total de carbonização. Houve diminuição no tempo de carbonização e foi possível obter 116 e 120g de carvão, respectivamente para os testes 4 e 5. Em contrapartida, observou-se que o tempo de resfriamento do material estava muito elevado. Tal fato se dava pela dificuldade na liberação de calor da amostra e da argamassa refratária. Assim, para manter um padrão adequado de resfriamento, mas com material que diminuísse a inércia térmica do reator, optou-se por empregar lã de vidro como isolante. Com esta substituição foi possível, também, se diminuir o peso total do reator. A Figura 5 apresenta a proposta final para o reator. Nesta, há um pequeno container cilíndrico para a biomassa, envolvido em lã de vidro, com material isolante térmico.

Figura 5: Isolamento térmico com lã de vidro



3 Resultados e discussão

3.1 Ensaios de pirólise em pressão atmosférica e isolamento de lã de vidro

Realizaram-se três experimentos. No primeiro momento foram realizados testes abastecendo-se o reator com 300g de casca de arroz, obtendo-se 114g de carvão. O segundo teste teve abastecimento com 350g, gerando 133g de carvão de serragem. O terceiro teste foi realizado com 400 g, o que resultou em 152 g de carvão de serragem todos com base úmida.

Os ensaios tiveram taxas de aquecimento de 20°C/min atingindo a temperatura máxima de 500°C, com 55 minutos de tempo de residência e 30 minutos para resfriamento do reator. Os rendimentos em carvão das amostras foram, em média, de 38% para a serragem, (Tabela 1)

Tabela 1: Rendimento dos testes de pirólise das biomassas em pressão atmosférica

Biomassa	Peso Inicial	Carvão Produzido	Temperatura Final	Tempo Total	Rendimento Aproximado
----------	--------------	------------------	-------------------	-------------	-----------------------



Casca de	300g	114g	500°C	55'	38 %
Arroz	350g	133g			
	400g	152g			

3.2 Resultados dos ensaios de pirólise em pressões positivas

Com a utilização a pressão de 2 bar (manométrica ou relativa). Observou-se que, diferente da carbonização sob pressão atmosférica, esta foi mais gradativa. Em aproximadamente 30 minutos de ensaio a resistência elétrica atinge 500°C, caracterizando uma taxa de aquecimento próxima de 16°C/min, similar aos testes com pressão atmosférica. O fim do processo de pirólise ocorre com aproximadamente 98 minutos de ensaio. O teste com pressão de 2 bar acarretou em um rendimento superior aos encontrados nos ensaios de carbonização com relação ao teste em pressão atmosférica. Com a influência deste parâmetro obteve-se um rendimento em carvão vegetal da ordem de 43,78%, ou seja um aumento de 6% em comparação com o rendimento em pressão atmosférica.

4 Conclusões e recomendações

O principal objetivo deste trabalho foi testar um reator para carbonização de biomassa, capaz de operar em regime de alta pressão e obter resultados que demonstrem o aumento de rendimento na carbonização de serragem de eucalipto.

Como conclusões principais deste trabalho têm-se:

- I. A partir dos ensaios realizados, pode se concluir a temperatura final do processo foi o parâmetro de maior importância, onde valores entre 450 e 500°C favoreceram maior rendimento do carvão produzido;
- II. O processo de pirólise/carbonização da biomassa é dependente da pressão, em parte devido a reações competitivas que caracterizam a degradação térmica, sendo que em taxas de aquecimento de 15° e 20°C/min, a influência da pressão sobre o rendimento do carvão foi positiva;
- III. A carbonização em leito fixo das biomassas residuais em regimes de alta pressão mostrou ser um processo térmico alternativo para o aproveitamento integral e mais nobre de resíduos que, em grande parte, não possuem uma destinação adequada e, portanto, agrega valor ao negócio.

Referências

BENITES, V. M.; TEIXEIRA, W. G. T.; REZENDE, M. E. R.; PIMENTA, A. S. P. **Utilização de Carvão e Subprodutos da Carbonização Vegetal na Agricultura: Aprendendo com as Terras Pretas de Índio.** Acessado em: <http://www.biochar.org/joomla/images/stories/Cap_22_Vinicius.pdf>. 15.11.2010.

GÓMEZ, A.; KLOSE, W.; RINCÓN, S. **Pirólisis de Biomasa: Cuesco de Biomasa.** Departamento de Ingenieria Mecánica Y Mecatrônica, Facultad de Ingenieria, Universidad Nacional de Colômbia, Bogotá, Colômbia e Instituto de Ingenieria Térmica, Facultad de Ingenieria Mecánica. Universidad de Kassel. Kassel Alemanha. 2008. 123 p.

NOGUEIRA, LUIZ AUGUSTO HORTA; LORA, ELECTRO EDUARDO SILVA. **Dendroenergia - Fundamentos e Aplicações** - 2ª Edição. Editora: Interciênciac. 2003. 199 p.

ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, V. S.; ROTHMAN, H.; **Uso da Biomassa para a Produção de Energia na Indústria Brasileira.** Tradutores: José Dilcio Rocha e Maria Paula G. D. Rocha. Campinas, SP: Editora Unicamp, 2005