

AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DO BAGAÇO DE CANA EM DIFERENTES NÍVEIS DE UMIDADE E GRAUS DE COMPACTAÇÃO

Marcelo Bacci da Silva (UNIMINAS)

marcelob@uniminas.br

Anderson dos Santos Morais (FAZU)

andersonnea@fazu.br



A grande oferta de bagaço de cana-de-açúcar, bem como sua potencial energia disponível, vem tornando-o cada vez mais objeto de estudo, afim de encontrar formas alternativas de aproveitamento dessa energia disponível. Este artigo apresenta uuma análise energética feita no bagaço de cana-de-açúcar, em diferentes níveis de umidade e graus de compactação, numa granulometria pré-fixada para confecção de briquetes (finos compactados). O trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar o desempenho energético do bagaço de cana-de-açúcar, em cada nível de umidade e em cada grau de compactação, considerando sua relevância no processo de briquetagem (densificação) e comparar as densidades energéticas obtidas no experimento com a do bagaço in natura. Observou-se, pelos resultados obtidos, que o processo de briquetagem pode ser eficiente se respeitados alguns critérios de fabricação, como: umidade, grau de compactação (densidade) e granulometria do bagaço, bem como densidade energética do briquete produzido. Após sua confecção, o mesmo tem considerável aumento no valor energético comercial.

Palavras-chaves: Bagaço de cana-de-açúcar, poder calorífico, matriz energética

1. Introdução

Há várias décadas, em alguns países da Europa e na América do Norte, a briquetagem tem sido utilizada e consiste em um processo bem desenvolvido e difundido, sendo de expressiva utilização industrial e comercial. A história da briquetagem teve início a partir da escassez de combustível e energia sofrida pela população europeia, durante a I Grande Guerra Mundial, evoluindo muito até a atualidade (ALBUQUERQUE, 1997).

Apesar do pouco conhecimento e do baixo emprego do briquete no país, o Brasil apresenta um potencial promissor a ser explorado, o que permitiria o aproveitamento mais racional dessa energia disponível, reduzindo o atual desperdício de resíduos industriais e agrícolas. Como consequência, haveria a possibilidade da redução do custo da energia consumida nos setores industrial e doméstico, além de uma provável redução nos níveis de poluição, resultando na substituição dos combustíveis fósseis por renováveis de origem vegetal, no caso os briquetes.

A briquetagem é um processo alternativo de aproveitamento da biomassa. Esse processo consiste em densificar a biomassa, gerando mecanicamente um aquecimento, que provoca a “liquefação” da lignina presente, que atua como agente aglomerante, dispensando a adição de outro agente aglomerante (ALBUQUERQUE, 1997).

Diante da necessidade de viabilizar formas alternativas e eficientes de aproveitamento da biomassa (bagaço de cana) excedente das usinas de álcool e açúcar, o presente trabalho tem por objetivo o estudo de dois aspectos que limitam o seu uso (energético) na forma *in natura*, a umidade e a baixa densidade, efetuando a otimização do processo.

Dentre os combustíveis sólidos renováveis, a lenha e o carvão vegetal apresentam números relativamente importantes em termos de consumo, principalmente nos setores residencial e industrial, onde a lenha aparece com respectivamente 28% e 8% do consumo total do setor e o carvão vegetal um valor de 7% do consumo no setor industrial, onde, ao lado do coque redutor importado, é utilizado principalmente em siderúrgicas como redutor na produção do aço (ROMEIRO, 2004).

Uma solução viável no sentido de se diminuir a exploração de florestas é a utilização racional e eficiente de resíduos agro florestais, subprodutos vegetais de culturas alimentícias, agroindústrias ou de exploração de florestas, que não são utilizados diretamente como energéticos por possuírem em geral baixa densidade, alta umidade, formato geométrico indesejado e baixo poder calorífico, sendo necessários, portanto, processamentos com o objetivo de aumentar a eficiência de utilização desses insumos, o que em muitos casos se torna vantajoso devido aos baixos custos de obtenção desses resíduos (MAYER, 2007).

O problema de se verificar a disponibilidade e potencial dos resíduos agros florestais é que dificilmente são efetuadas pesquisas para quantificá-los, como é efetuado com outros insumos energéticos, onde se quantificam recursos e reservas (petróleo, carvão mineral, gás natural) ou produção anual (cana-de-açúcar, culturas alimentícias). É necessário, portanto, em grande parte dos casos, estimar-se a disponibilidade dos resíduos. A maioria dessas estimativas pode ser considerada de razoável aceitação quando o objetivo é obter uma ordem de grandeza do potencial real desses resíduos.

As principais propriedades para caracterização energética de biomassas em geral são: Poder Calorífico – PC (kJ/kg), densidade (kg/m³) e composição, onde o poder calorífico é classificado em dois tipos:

- Poder Calorífico Superior - PCS: Poder Calorífico em base seca, onde não se leva em consideração o calor associado à condensação da água formada em reação com o hidrogênio contido na biomassa.

- Poder Calorífico Inferior (PCI): É calculado subtraindo do PCS o calor associado com a condensação do vapor de água formado pela reação do hidrogênio contido na biomassa. Durante a determinação do PCI deve-se levar em consideração o teor de umidade presente.

O bagaço de cana é um subproduto resultante da extração do caldo da cana-de-açúcar em usinas ou destilarias na produção de álcool etílico e açúcar. Pode ser considerado atualmente como o principal resíduo agrícola brasileiro, devido à expansão na produção de álcool. A maior parte do bagaço produzido é utilizada na própria usina na geração de vapor para o suprimento de energia de seu parque industrial (LORA, 2004). O bagaço de cana *in natura* resultante do processo de moagem apresenta aproximadamente umidade de 50% b.u. e densidade aparente de 120 kg/m³ (PETROBRÁS, 1982).

Define-se briquetagem como um processo no qual pequenas partículas de material sólido são prensadas para formar blocos de forma definida e de menor tamanho. Através desse processo, subprodutos de beneficiamento agro florestal, agroindustriais e finos de carvão convertem-se em um material de maior valor comercial que é o briquete (ANTUNES, 1982). Os parâmetros esperados para o briquete são: resistência mecânica, resistência ao impacto, baixa higroscopicidade, alta densidade, boas propriedades de queima e alto poder calorífico.

2. Materiais e Método

O presente trabalho apresentou uma parte experimental conduzida no Laboratório de Operações Unitárias do Núcleo de Excelência de Engenharia de Alimentos – NEEA da FAZU - Faculdades Associadas de Uberaba, e foi realizada em três etapas: secagem e caracterização dos conteúdos de umidade; caracterização dos graus de compactação e análise do poder calorífico, esta feita na Fundação Centro tecnológico de Minas Gerais – CETEC – Belo Horizonte MG.

2.1 Secagem

O objeto de estudo deste trabalho foi o bagaço de cana, com densidade mássica aparente de aproximadamente 100 kg/m³, PCS a 50% de umidade da ordem de 2.275 kcal/kg e densidade energética aparente de 227,5 Mcal/ m³. Como o bagaço se encontrava com uma umidade relativamente alta, optou-se por secá-lo, para obter níveis de umidade variáveis, e relacioná-los com outros parâmetros.

Nesta fase foram obtidos os seguintes conteúdos de umidade: 50, 30, 20, 10 e 0% de umidade, com o auxílio de uma estufa de secagem na temperatura constante de 105°C. Em seguida, foi construída a curva de secagem para o bagaço processado, como mostra a Fig. 1. O conteúdo de umidade em função do tempo de secagem foi ajustado pela equação (1) a seguir, com coeficiente de correlação de 0,9929:

$$X = -1,7904.t + 51,5798 \quad (1)$$

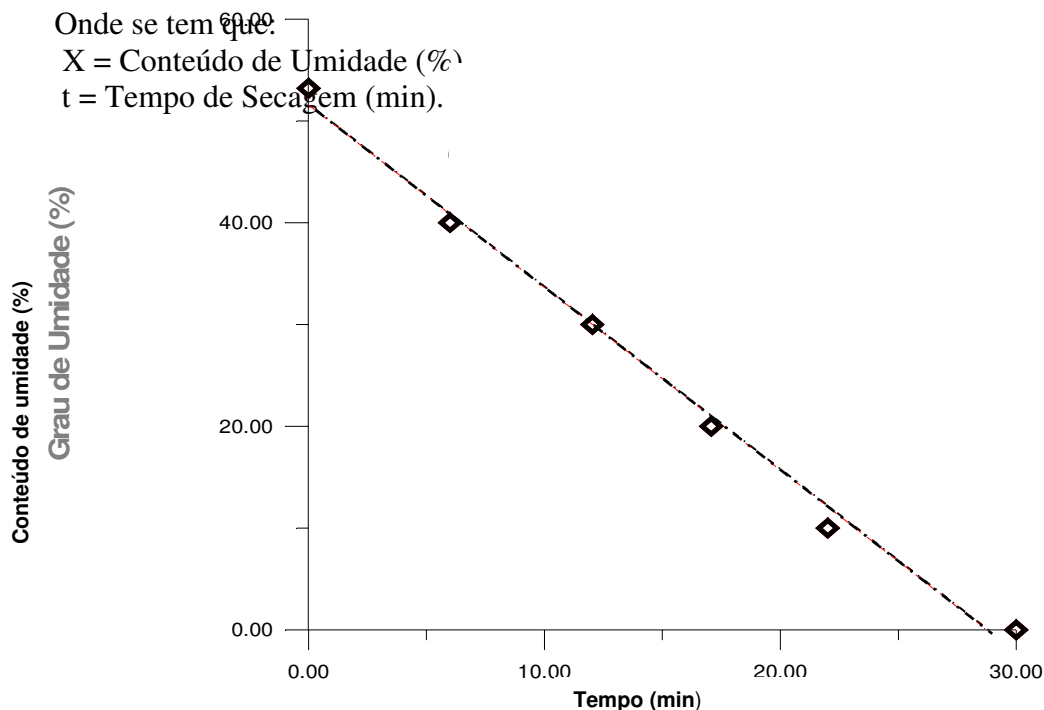


Figura 1. Curva de secagem do bagaço de cana.

Esse comportamento linear pode ser explicado pelo fato do bagaço estar significativamente pulverizado com diâmetro médio de aproximadamente 0.9 mm. Isto ocorre porque a superfície de contato é aumentada e, conseqüentemente, a retirada de água fica mais facilitada.

2.2 Compactação

Neste processo foram caracterizados quatro graus de compactação, formando unidades com densidades de: 1000, 1200, 1300 e 1400 Kg/m³ conseguidos após estudos das técnicas do principal fabricante de briquetes do país, LIPPEL. Este processo consiste em densificar a biomassa com o auxílio de prensas hidráulicas. Estes graus de compactação são os mais utilizados para a fabricação de briquete de biomassa advinda da madeira e, extrapolando este processo para o bagaço de cana, as respostas são praticamente iguais, uma vez que suas características físicas também são parecidas.

2.3 Poder calorífico

O poder calorífico do bagaço de cana foi analisado pelo Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, segundo os critérios estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, constantes da NBR – 8633/84, indicada para o carvão vegetal, podendo ser adaptada para qualquer combustível sólido e também para o bagaço. Este

ensaio foi feito usando metodologia utilizada pelo laboratório de metrologia e ensaios com o auxílio de uma bomba calorimétrica, conforme apresentada na Fig. 2.

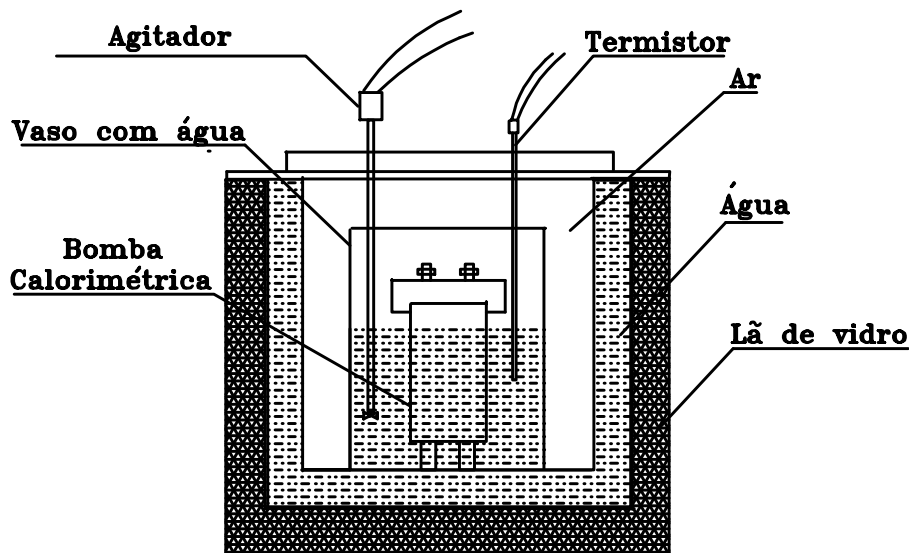


Figura 2. Calorímetro.

3. Resultados e Discussão

Os resultados descritos neste item correspondem aos ensaios experimentais realizados com bagaço de cana-de-açúcar da safra de 2004/2006.

A Tabela 1 mostra os resultados obtidos na análise do poder calorífico superior em cada nível de umidade e, como esperado, nota-se considerável acréscimo com a diminuição da umidade. Passando a umidade de 50% para 0% consegue-se um incremento energético da ordem de 92%, sendo que 60% são conseguidos reduzindo a umidade para 20%. Então, pode-se dizer que o bagaço de cana-de-açúcar com umidade em torno de 20% é mais viável de ser utilizado para o aproveitamento energético. Processos de secagem são onerosos e para produção de um bagaço mais seco, o consumo de energia para sua produção pode inviabilizar o processo.

Tabela 1. Poder calorífico superior (PCS) x umidade.

Poder calorífico Superior (kcal/kg)	Umidade (%)
4360	0
3985	10
3641	20
3145	30
2275	50

PCS pela densidade aparente do bagaço de cana-de-açúcar, decai com o aumento da umidade e como esperado, o briquete de melhor desempenho energético entre os estudados é o que

possui o grau de compactação da ordem de 1400 kg/m^3 .

Para relacionar o consumo de energia nos diferentes graus de compactação e umidade, no presente trabalho propõe-se a criação de um número adimensional intitulado de Poder Calorífico Relativo – PCR (dado em porcentagem) e caracterizado pela equação: $\text{PCR} = (\text{PCS} - E_c) / 100 \text{ PCS}$, onde E_c = Energia consumida. O resultado é mostrado na Fig. 3.

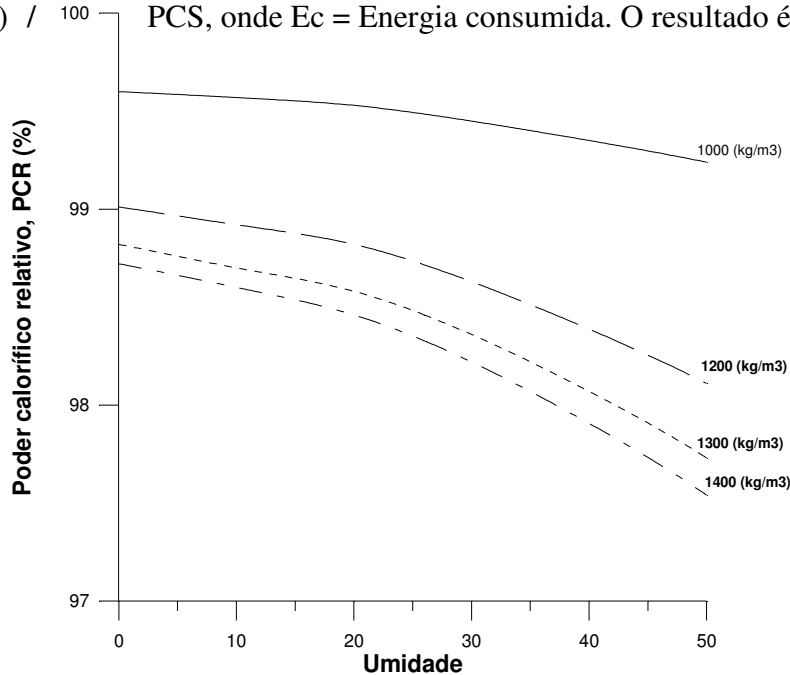


Figura 3. Correlação entre poder calorífico relativo e umidade.

Fazendo uma análise econômica, observa-se na Fig. 3 que o grau de compactação que menos consome energia na compactação é o que possui o maior PCR, sendo então, conseqüentemente o de 1000 kg/m^3 que também é o que menos sofre influência da umidade, dado pelo grau da curvatura da curva.

Observa-se na Fig. 4 um comportamento linear e crescente da densidade energética com o aumento do grau de compactação. Comparando esses resultados com o do bagaço de cana-de-açúcar “*in natura*”, que possui uma densidade mássica aparente de 100 kg/m^3 , PCS a 50% de umidade na ordem de 2.275 kcal/kg e densidade energética aparente de $227,5 \text{ Mcal/m}^3$, observa-se que há um aumento considerável da densidade energética, da ordem de 1300%, sendo que 900% são conseguidos até o grau de compactação de 1000 kg/m^3 .

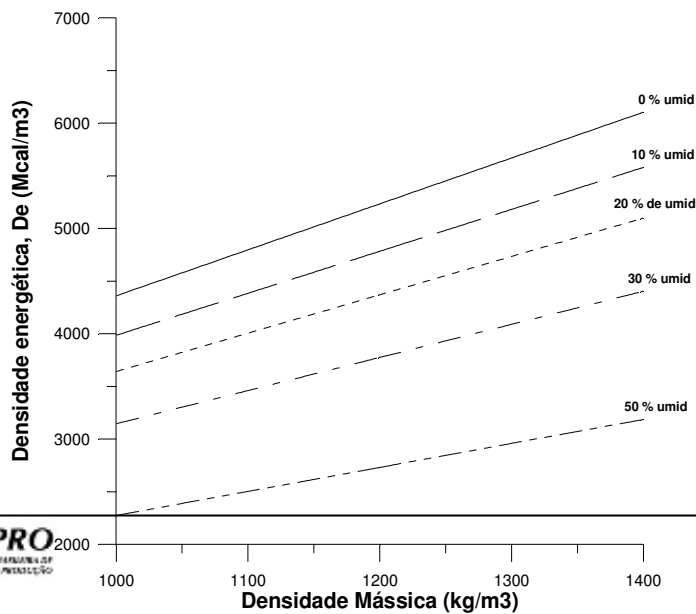


Figura 4. Correlação entre densidade energética e densidade mássica.

A Tabela 2 apresenta os valores do poder calorífico nos diferentes graus de umidade e em cada grau de compactação.

Os resultados aqui apresentados mostram um bom desempenho do bagaço de cana-de-açúcar frente às questões energéticas, e também que os principais inconvenientes de seu uso podem e devem ser trabalhados com a finalidade de torná-lo um combustível sólido limpo, renovável e eficaz.

TABELA 2 – Valor energético em diferentes níveis de umidade e densidade.

Umidade (%)	Densidade energética (Mcal/ m ³)	Densidade Mássica (kg/m ³)
0	4360	1000
	5232	1200
	5668	1300
	6104	1400
10	3985	1000
	4782	1200
	5180	1300
	5579	1400
20	3641	1000
	4369	1200
	4733	1300
	5097	1400
30	3145	1000
	3774	1200
	4088	1300
	4403	1400
50	2275	1000
	2730	1200
	2958	1300
	3185	1400

4. Conclusões

O bagaço de cana-de-açúcar, por se tratar de uma biomassa relativamente de baixo custo, é uma das principais alternativas para se produzir energia limpa, principalmente diante do fato de que em algumas décadas os combustíveis de origem fóssil estarão cada vez mais escassos. Sua resposta em quantidade energética na forma “*in natura*” é relativamente aceitável, porém, se utilizado de forma mais racional, seus benefícios para a sociedade poderão ser bem melhores.

Um dos principais fatores positivos pelo uso racional do bagaço de cana-de-açúcar é a diminuição do impacto ambiental que o mesmo causa, como a mitigação de emissão de carbono da atmosfera e a redução do efeito estufa, sem falar dos benefícios para a economia do país. O panorama estabelecido no cenário atual sinaliza que as fontes de energia renováveis devem assumir papel crescente na matriz energética mundial, forçada pela perspectiva de redução das reservas de combustíveis fósseis e, cada vez mais, por questões ambientais. Entre as inúmeras fontes renováveis de energia, o bagaço de cana-de-açúcar mostra-se como uma alternativa bastante promissora.

Neste contexto, a utilização de fontes alternativas de energia, em particular os resíduos da cana-de-açúcar, aparece como uma oportunidade de particular importância para colaborar na oferta de energia para o país.

Diante dos resultados obtidos, pode-se dizer que no processo de aproveitamento energético de bagaço de cana-de-açúcar vários fatores precisam ser considerados, principalmente a umidade e o grau de compactação (densidade), que são os que mais influenciam e limitam o seu uso de forma mais abrangente como fonte de energia. Nem sempre a escolha do melhor processo é a mais evidente, haja visto que no presente trabalho foi observado o comportamento energético do bagaço da cana-de-açúcar em diferentes níveis de umidade e graus de compactação e pôde ser constatado que o grau de compactação e o nível de umidade ótimos são, respectivamente, 1400 kg/m³ e 20%, se considerado apenas as variáveis aqui relacionadas.

Referências

- ALBUQUERQUE, C. E. C. ; ANDRADE, A. M.** *Visão histórica e perspectiva futura. Floresta e Ambiente.* Rio de Janeiro, v. 4, p. 104 – 109, 1997.
- ANTUNES, R.C.** *Briquetagem de Carvão Vegetal. In: _____ . Produção e Utilização de Carvão Vegetal. Belo Horizonte: CETEC, vol. 1, p. 197-206, 1982.*
- HOFFMAN, R.** *Método Avaliativo da Geração Regionalizada de Energia, Em Potências Inferiores a 1MW a Partir da Gestão de Resíduos da Biomassa – O Caso da Casca de Arroz.* Tese de Doutorado, PROMEC – UFRGS, Porto Alegre, RS, 1999.
- LORA, E. E. S.; NASCIMENTO, M. A. R.** *Geração Termelétrica: Planejamento, Projeto e Operação* (Volume 2). Rio de Janeiro, Editora Interciência, 2 vol., 1296 p., 2004.
- MAYER, F. D.; CASTELLANELLI, C.; HOFFMAN, R.** *Geração de Energia Através da Casca de Arroz: Uma Análise Ambiental.* Em: Anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (XXVII ENEGEP), Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 09 a 11 de outubro de 2007.

ROMEIRO, A. R. *Avaliação e Contabilização de Impactos Ambientais*. Campinas: Editora Unicamp, 2004.

PETROBRÁS. *Dados Técnicos de Biomassas*. Rio de Janeiro: PETROBRÁS. Depto. Industrial - Divisão de Fontes Energéticas Alternativas, N. 29, 65p., 1982.