



ANÁLISE DO COMPORTAMENTO HIGROSCÓPICO DE BLENIDAS DE BIOMASSA

Lívia L. Aló*; Fábio M. Yamaji**; Paula A. Konishi***; Carlos R. Sette Junior****

* Bolsista PIBIC/CNPq, graduanda do curso de Engenharia Florestal – UFSCar campus Sorocaba, livialanzi@yahoo.com.br

** Projeto Universal/CNPq – Professor orientador - UFSCar campus Sorocaba, fmyamaji@ufscar.br

*** Graduanda do curso de Engenharia Florestal – UFSCar campus Sorocaba, paulakonishi@hotmail.com

****Professor coorientador – UFG- Universidade Federal de Goiás, crsettejr@hotmail.com

Resumo

A blenda é uma alternativa para utilização da biomassa úmida para a produção de briquetes. O objetivo desse trabalho foi analisar o comportamento higroscópico das blendas submetidas a diversas condições de armazenamento e determinar a proporção adequada dos resíduos. Para a caracterização da biomassa determinou-se a densidade a granel, poder calorífico, teor de cinzas e voláteis e o carbono fixo. Confeccionou as blendas com teores de umidade de 30%; 17,5%; 13,5%; 10% para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Para cada tratamento houve 30 repetições, onde se utilizou 10 para cada tipo de acondicionamento (ambiente com 63%, 75% e 45% de umidades). As médias dos teores de cinzas, voláteis, densidade, poder calorífico e carbono fixo encontradas foram de 10,38%, 86,24%, 171,84 kg/m³, 27650,0 J/g e 3,39% respectivamente. Após 48 dias da prensagem, verificou-se a expansão dos briquetes, no qual o tratamento 3 armazenado na sílica foi o que teve a menor expansão (1,13%). Em seguida os briquetes foram submetidos a um ensaio de resistência da tração por compressão diametral, onde o tratamento 3 apresentou os melhores resultados, possuindo tensão máxima média de 1,0969 MPa (média de todos os armazenamentos). Os resultados indicam que o uso de blendas pode ser uma alternativa para corrigir problemas de teor de umidade dos materiais.

Palavras Chave: Briquetes, bagaço de cana, pó de lixa.

Abstract

Hygroscopic behavior Analysis of biomass blends

Blende is an alternative resource for dripping biomass for briquettes production. The purpose of this work was to analyze the hygroscopic behavior of the blende, which was submitted to several storage conditions and calculate the adequate ratio of the sediment. For the characterization of the biomass, was determined the bulk density, calorific value, ash content, volatile matter and the fixed carbon. The blende was concocted with 30%; 17,5%; 13,5%; 10% of water content for, in this order, the treatment 1, 2, 3 and 4. For each treatment was made 30 times, being 10 times with 63% of humidity, 10 times with 75% and the remaining 10 times with 45% of humidity. The averages of ash content, volatile matter, density, calorific value and fixed carbon achieved was 10,38%, 86,24%, 171,84 kg/m³, 27650,0 J/g e 3,39% respectively. Passed 48 days after pressing, the briquette's expansion was observed, which the treatment n°3, stored in silica, was the one with the minor expansion (1,13%). Then the briquettes were subjected to a tensile strength test by diametrical compression, where the treatment n° 3, having maximum stress average of 1,0969 MPa (the average of all treatments), showing the best results. The results indicate that the use of blends can be an alternative to correct water content problems of materials.

Keywords: *Briquettes, sugarcane bagasse, anding dust.*

INTRODUÇÃO

No cenário atual a utilização de resíduos sólidos funciona como uma alternativa energética aos combustíveis sólidos convencionais como a lenha e o carvão. A briquetagem é o processo de compactação desses resíduos. Dois parâmetros a serem considerados são o teor de umidade e a granulometria do material que pode interferir na sua compactação (SILVA *et al.*, 2011).

A grande oferta de bagaço de cana-de-açúcar, bem como sua potencial energia disponível, vem tornando-o cada vez mais objeto de estudo. Como a grande maioria dos resíduos produzidos nas fábricas possui alto teor de umidade (30% ou mais), segundo Quirino (2001), essa condição prejudica o empacotamento do material e também produz briquetes sem estabilidade. Uma solução seria o uso de blendas, ou seja, briquetes



compostos, produzidos a partir de mais de um tipo de resíduo, onde é possível obter médias ponderadas de umidade em diferentes composições, sem a necessidade de secagem do material.

Como a maioria dos materiais da biomassa é higroscópica, podem absorver ou perder água para o meio ambiente, logo, o conhecimento da umidade de equilíbrio dos briquetes é essencial para o melhor desempenho do material e, principalmente, no processo de estocagem. O objetivo do estudo foi analisar o comportamento higroscópico das blendas quando submetidas a diversas condições de armazenamento e determinar a proporção mais adequada de bagaço de cana e pó de lixa na confecção de blendas.

MATERIAL E MÉTODOS

As biomassas selecionadas para o processo de briquetagem foram pó de lixa e bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) advindo de uma usina de álcool localizada em João Pinheiro-MG. Selecionaram-se estas biomassas, partindo do princípio de utilização de um material seco (pó de lixa) e outro úmido (bagaço de cana). Foram escolhidos quatro tratamentos, com quantidades variadas de pó de lixa e bagaço de cana, os quais podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Porcentagem de pó de lixa e bagaço de cana-de-açúcar presente em todos os tratamentos.
Table 1: Percentage of sanding dust and sugarcane bagasse present in all treatments.

| Tratamento | Pó de Lixa | Bagaço de cana-de-açúcar |
|------------|------------|--------------------------|
| 1 | 0% | 100% |
| 2 | 50% | 50% |
| 3 | 65% | 35% |
| 4 | 80% | 20% |

Para a determinação da densidade a granel dos tratamentos fez-se o cálculo com base a norma NBR 6922, onde foram feitas 3 repetições para cada tratamento. A equação utilizada está descrita abaixo.

$$\gamma = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Em que: γ é a massa específica a granel em kg/m^3 ; m é a massa da amostra em kg e V o volume do recipiente em m^3 .

O poder calorífico foi determinado na UNESP – Itapeva, onde foi utilizada uma bomba calorimétrica. Para a determinação do teor de voláteis, os cadinhos foram calcinados na mufla a uma temperatura de 600°C por uma hora e trinta minutos, depois de resfriados e pesados, em cada cadinho foi colocado 1,0g de um tratamento diferente, mas com 3 repetições. Os materiais foram colocados na mufla a 980°C por 3 minutos com a porta aberta e então por 7 minutos com a porta fechada. Através da equação 2 se obteve o teor de voláteis.

$$Vo = \frac{M1 - M2}{M} \times 100 \quad (2)$$

Onde, Vo é teor de volátil (%); $M1$ é a massa inicial do cadinho acrescido da amostra; $M2$ é a massa final do cadinho acrescido da amostra e M é a massa da amostra isenta de umidade.

Após a realização do voláteis, os cadinhos foram levados novamente à mufla a 600°C onde permaneceram por 6 horas para a determinação do teor de cinzas. Usou-se 3 repetições para cada tratamento. Para a realização do cálculo do teor de cinzas utilizou-se a equação 3.

$$CI = \frac{M1 - M0}{M} \times 100 \quad (3)$$

Em que CI refere-se ao teor de cinzas (%); $M1$ é a massa do cadinho mais o resíduo após a combustão; $M0$ refere-se à massa do cadinho; m é a massa da amostra isenta de umidade. Com os dados de teor de voláteis e de teor de cinzas foi possível calcular o carbono fixo através da fórmula 4.

$$CF = 100 - \text{volátil}(\%) - \text{cinzas}(\%) \quad (4)$$

Para o processo de briquetagem, o pó de lixa foi colocado em um separador de partículas por 3 minutos para se obter a distribuição granulométrica e também selecionar a granulometria retida na peneira de 60 mesh. O bagaço de cana-de-açúcar passou por um processo de secagem em estufa e então foi moído no moinho tipo Willey. Os materiais selecionados foram conduzidos à estufa a 103°C até adquirir peso constante. Em seguida, foram feitas as correções dos teores de umidade para 30% para a cana e 5% para o pó de lixa com o auxílio da balança determinadora de umidade MX-50.



As blendas com teores de umidade de 30%; 17,5%; 13,5%; 10% para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente foram confeccionados utilizando-se 20g de material, conforme a proporção já apresentada na tabela 1. Após a mistura das biomassas de cada tratamento, as amostras foram agitadas e deixadas 24 horas para homogeneização. Confeccionou-se 30 briquetes para cada tratamento, sendo que desses 30, foram utilizados 10 briquetes para cada tipo de acondicionamento. Com o auxílio de um paquímetro, mediu-se a altura de cada briquete logo após a prensagem.

Foram criadas 3 situações diferentes de acondicionamento: umidade ambiente (63%); umidade mais elevada (75%), condição criada com a utilização de água e sal dentro de um dessecador com ventilação interna. E também umidade menos elevada (45%), condição criada utilizando-se sílica dentro de um dessecador com ventilação interna. Durante o período, acompanhou-se a alteração da massa e da altura (expansão) de três briquetes em cada situação. Após 48 dias realizou-se o ensaio mecânico de tração por compressão diametral utilizando-se a máquina universal de ensaios EMIC DL30000N para verificar a resistência mecânica das blendas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O pó de lixa apresenta um comportamento diferente em termos granulométricos. A maior parte ficou retida nas peneiras de 60, 100 e 200 mesh, conforme pode ser observado na Figura 1. Os valores eram esperados, pois o pó de lixa tem granulometria irregular e a maior parte de suas partículas é fina.

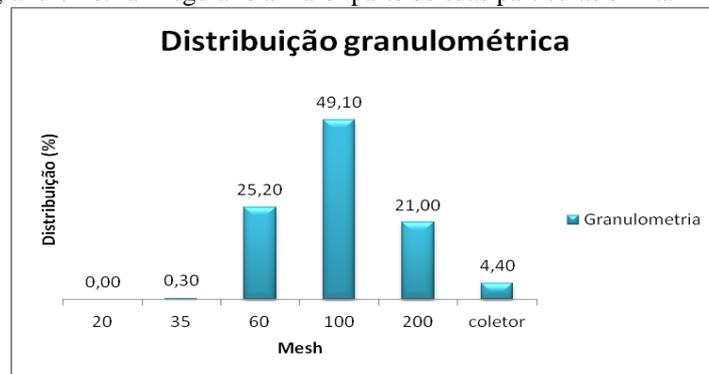


Figura 1: Análise Granulométricas da biomassa de pó de lixa.

Figures 1: Particle size analysis of sanding dust biomass.

No tratamento 1 (100% de cana) não ocorreu à formação adequadamente dos briquetes, estes se tornaram frágeis e expandiram rapidamente, inclusive esfarelando logo após a sua confecção. Demonstrando assim, que esse material com umidade de 30% não é adequado para a produção de briquetes e por isso não foram feitas as demais análises nesse trabalho.

Tabela 2: Densidade a granel dos resíduos em kg/m³.

Table 2: The bulk density of the sediments in kg/m³.

| Tratamento | Densidade a granel (kg/m ³) |
|------------|---|
| 2 | 256,25 |
| 3 | 200,98 |
| 4 | 174,88 |

Tabela 3: Valores dos poderes caloríficos encontrados para cada tratamento.

Table 3: Calorific values archived in each treatment.

| Tratamento | Poder calorífico (J/g) |
|------------|------------------------|
| 2 | 26494,05 |
| 3 | 27893,52 |
| 4 | 28564,26 |

Analisando-se as densidades na Tabela 2, é possível observar que quanto maior o teor de pó de lixa, menor é a densidade a granel. Na Tabela 3 também se observa que quanto maior a proporção de pó de lixa, maior o poder calorífico encontrado. Portanto a proporção de pó de lixa tem alta influência na densidade e no poder calorífico da blenda.



Tabela 4: Valores do teor de voláteis, de cinzas e carbono fixo para cada tratamento.
Table 4: Ash content, volatile matter and the fixed carbon values for each treatment.

| Tratamento | Teor de Cinzas (%) | Teor de Voláteis (%) | Carbono Fixo (%) |
|------------|--------------------|----------------------|------------------|
| 2 | 10,86 | 86,07 | 3,07 |
| 3 | 10,38 | 86,24 | 3,39 |
| 4 | 9,90 | 86,40 | 3,70 |

De acordo com Brito & Barrichello (1982), os teores de materiais voláteis variam entre 75 a 85% e os de carbono fixo entre 14 a 25% para a madeira. Para os 3 tratamentos, o teor de voláteis está um pouco acima do indicado em termos médios pelos autores. Já o carbono fixo está muito abaixo, resultado não muito vantajoso, pois segundo os mesmos autores, indica que o material possui queima mais rápida (Tabela 4).

Um alto teor de cinzas pode inviabilizar a utilização da cana, porque o excesso de material residual gera maior manutenção (CHRISOSTOMO, 2011). Através dos resultados obtidos, observa-se que quanto maior é o teor de pó de lixa menor é o teor de cinzas, apesar de este ser alto quando comparado a outros materiais. O tratamento 4, com maior teor de pó de lixa foi o que apresentou resultados mais satisfatórios quando comparado aos outros dois tratamentos: menor teor de cinzas e maior carbono fixo.

Tabela 5: Análise da altura e peso dos três tratamentos nos três ambientes de armazenamento, após a prensagem.
Table 5: Analysis of the height and weight of the three treatments in three storage environments, after pressing.

| Tratamentos e armazenamentos | Altura (cm) | | | Massa (g) | | |
|------------------------------|-------------|-------|--------|------------|-------|--------|
| | Testemunha | Sal | Sílica | Testemunha | Sal | Sílica |
| Tratamento 2 | 21,63 | 21,80 | 21,90 | 19,84 | 19,88 | 19,95 |
| Tratamento 3 | 19,71 | 19,77 | 20,37 | 20,02 | 20,09 | 20,24 |
| Tratamento 4 | 21,44 | 19,59 | 19,67 | 20,40 | 20,07 | 20,17 |

Observa-se na Tabela 5 que os briquetes obtidos apresentaram uma altura média de 21,78 cm³ para o tratamento 2, de 19,95 cm³ para o tratamento 3 e de 20,23 cm³ para o tratamento 4, sendo o tratamento 3 (teor de umidade de 13,5%) o que possui a melhor compactação em relação aos demais.

Tabela 6: Análise da altura e peso dos três tratamentos nos três ambientes de armazenamento, após 48 dias.
Table 6: Analysis of the height and weight of the three treatments in three storage environments, after 48 days.

| Tratamentos e armazenamentos | Altura (cm) | | | Massa (g) | | |
|------------------------------|-------------|-------|--------|------------|-------|--------|
| | Testemunha | Sal | Sílica | Testemunha | Sal | Sílica |
| Tratamento 2 | 22,34 | 22,52 | 22,35 | 18,40 | 18,94 | 18,28 |
| Tratamento 3 | 20,45 | 20,85 | 20,60 | 19,31 | 19,70 | 16,25 |
| Tratamento 4 | 22,87 | 22,28 | 20,58 | 20,46 | 20,70 | 20,29 |

Após 48 dias, em todos os tratamentos houve expansão em altura dos briquetes (Tabela 6), sendo o tratamento 4 armazenado no ambiente com sal o que possui a maior expansão com 13,73%, isto é, 2,69 cm. Já o tratamento com a menor expansão foi o tratamento 3 armazenado na sílica, com um aumento de apenas 1,13% (0,23 cm) na altura (Tabela 7).

Segundo Aló *et al.* (2011), a expansão média encontrada para briquetes produzidos a partir de blendas de pinus e de pó de lixa foi de 5,47% após 48 horas de compactação. Para Silva *et al.* (2011), a expansão média para briquetes de pinus com 10% de umidade foi de 12,68%, e o com 12% de umidade apresentaram uma média de 5,64%, após 14 dias de armazenamento.

Tabela 7: Análise da altura e peso dos três tratamentos nos três ambientes de armazenamento, após 48 dias.
Table 7: Analysis of the height and weight of the three treatments in three storage environments, after 48 days.

| Tratamentos e armazenamentos | Variação na altura (%) | | | Variação na massa (%) | | |
|------------------------------|------------------------|-------|--------|-----------------------|-------|--------|
| | testemunha | sal | sílica | testemunha | sal | sílica |
| Tratamento 2 | 3,27 | 3,29 | 2,07 | -7,24 | -4,73 | -8,37 |
| Tratamento 3 | 3,76 | 5,46 | 1,13 | -3,55 | -1,94 | -19,72 |
| Tratamento 4 | 6,67 | 13,73 | 4,59 | 0,31 | 3,16 | 0,60 |



Com relação à massa dos briquetes houve redução nos tratamentos 2 e 3 nos três ambientes de armazenamento, o contrário ocorreu no tratamento 4 nos seus três ambientes de armazenamento. O que teve a maior perda de massa (19,72%) foi o tratamento 3 no ambiente com sílica. A perda ou ganho de massa interfere no transporte dos briquetes. Portanto, os briquetes do tratamento 3 armazenados na sílica foram os que obtiveram a menor expansão em altura e também a maior perda em massa. A menor expansão indica que os briquetes produzidos com umidade de 13,5% e que foram armazenados em um ambiente seco (sílica) sofreram menores mudanças em suas características.

A Tabela 8 do tratamento 2 em diferentes acondicionamentos, mostram os resultados encontrados durante os ensaios de tração por compressão diametral dos briquetes.

Tabela 8: Valores médios obtidos no ensaio de tração por compressão diametral dos tratamentos 2.

Table 8: Mean values obtained in tensile testing by diametral compression of treatments n°2.

| Tratamento 2 | Força Máxima (Kgf) | Deformação Máxima (mm) | Tensão Máxima (MPa) |
|--------------|--------------------|------------------------|---------------------|
| Testemunha | 90,78 | 1,349 | 0,7230 |
| Sal | 98,26 | 1,517 | 0,7672 |
| Sílica | 84,47 | 1,354 | 0,6677 |

O tratamento 2 em sal foi o que possui as melhores características obtidas, como a tensão máxima média de 0,7672 MPa, a média da deformação máxima de 1,517 mm e a força máxima média foi 98,26 Kgf. A análise estatística com relação à média da tensão máxima dos briquetes, mostrou que há diferença significativa entre os acondicionamentos, e que através do teste de Tukey as 3 formas de armazenamento (testemunha, sal e sílica) do tratamento 2 diferem entre si.

Tabela 9: Valores médios obtidos no ensaio de tração por compressão diametral dos tratamentos 3.

Table 9: Mean values obtained in tensile testing by diametral compression of treatments n°3.

| Tratamento 3 | Força Máxima (Kgf) | Deformação Máxima (mm) | Tensão Máxima (MPa) |
|--------------|--------------------|------------------------|---------------------|
| Testemunha | 133,00 | 1,159 | 1,1440 |
| Sal | 137,70 | 1,217 | 1,1820 |
| Sílica | 111,50 | 1,248 | 0,9646 |

Neste tratamento (3) o que obteve o melhor resultado também foi o que ficou armazenado no ambiente com sal, tendo a tensão máxima média de 1,1820 MPa, a média da deformação máxima de 1,217 mm e a força máxima média de 137,70 Kgf (Tabela 9). Com relação à tensão máxima dos briquetes, a análise estatística mostrou que há diferença significativa entre as 3 formas de armazenamento do tratamento 3. Dessa maneira o teste de Tukey mostrou que a força que os tratamentos 3, testemunha e no sal, suportam não diferem entre si, no entanto o tratamento 3 na sílica difere dos demais (testemunha e sal).

Tabela 10: Valores médios obtidos no ensaio de tração por compressão diametral dos tratamentos 4.

Table 10: Mean values obtained in tensile testing by diametral compression of treatments n°4.

| Tratamento 4 | Força Máxima (Kgf) | Deformação Máxima (mm) | Tensão Máxima (MPa) |
|--------------|--------------------|------------------------|---------------------|
| Testemunha | 65,76 | 1,201 | 0,5007 |
| Sal | 76,14 | 1,211 | 0,5901 |
| Sílica | 101,10 | 1,102 | 0,8666 |

No tratamento 4 os briquetes que ficaram armazenados no ambiente com sílica foram os que tiveram os melhores resultados quanto à média da força máxima com 101,10 Kgf, a média da deformação máxima com 1,102 mm e a média da tensão máxima com 0,8666 MPa (Tabela 10). A análise estatística mostrou que há diferença significativa entre as 3 formas de armazenamento dos briquetes no tratamento 4 com relação à tensão máxima, o teste de Tukey revelou que as 3 formas diferem entre si.

Em relação ao mesmo armazenamento e tratamentos diferentes, houve diferença significativa para a tensão máxima dos briquetes, sendo que os tratamentos 2, 3 e 4 diferem entre si nos briquetes testemunha e nos que foram armazenados no sal. Porém, os briquetes que foram armazenados na sílica, apenas o tratamento 2 difere dos tratamentos 3 e 4.



Com esses valores é possível dizer que os briquetes do tratamento 3 que ficaram armazenados no sal e os que ficaram ao ar livre (testemunha) possuem as melhores resistências mecânicas se comparados com os outros tratamentos e armazenamentos.

O valor encontrado para a tensão máxima média foi superior ao encontrado no trabalho realizado por Chrisostomo (2011), onde o valor de tensão máxima média foi de 1,01 MPa para briquetes de eucalipto e 0,45 MPa para os briquetes de pinus com 10% de umidade. Nesta mesma umidade, Silva *et al.* (2011) encontrou uma tensão máxima média de 0,24 MPa para o briquete de pinus e 0,53 MPa para o briquete de pinus com 12% de umidade. Segundo Aló *et al.* (2011), a tensão máxima média foi de 1,188 MPa para briquetes formados a partir de blendas de pinus e pó de lixa com umidade de 10%, de 1,342 MPa para briquetes com umidade de 13,5% e de 1,095 MPa para briquetes com 17,5 % de umidade.

CONCLUSÃO

O pó de lixa apresentou umidade baixa, mostrando que é viável a sua mistura com a biomassa úmida da cana com a finalidade de atingir uma umidade compatível para a produção de briquetes. Sendo assim viável o uso de blendas com mistura de biomassa úmida e seca.

Com relação à expansão após 48 dias, todos os briquetes tiveram expansão na altura, porém o tratamento 3 armazenado na sílica foi o que teve a menor expansão. Isso demonstra que as condições ambientais influenciam nas características dos briquetes e que briquetes com menor expansão possuem melhor acondicionamento e menor risco de desintegração.

O tratamento 4 (10% de umidade), com maior teor de pó de lixa, foi o que apresentou resultados mais satisfatórios em relação ao teor de cinzas e carbono fixo. Entretanto, essas diferenças foram mínimas em relação ao tratamento 3, o qual também apresentou resultados satisfatórios. Os briquetes com 13,50% de umidade (tratamento 3) também apresentaram os melhores resultados em relação à tensão máxima média, sendo que os armazenados em ambiente com sal e ao ar livre foram os melhores, isto demonstra que, eles possuem boa resistência e estabilidade mecânica, possibilitando uma melhor estocagem e transporte do material.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Pesquisas - CNPq pelo financiamento do projeto (Edital 20/2009 - Linha de Pesquisa 1: Biomassa) e pelas bolsas concedidas.

REFERÊNCIAS

ALÓ, L. L. *et al.* **Caracterização de blendas em diferentes porcentagens de *pinus* sp. e pó de lixa para a produção de biocombustível sólido.** 6º Congresso Internacional de Bioenergia, Curitiba-PR, 2011.

BRITO, J. O.; BARRICHELLO, L. E. G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: **Seminário de Abastecimento Energético Industrial com Recursos Florestais.** São Paulo, p.101-137, 1982.

CHRISOSTOMO, W. **Estudo da compactação de resíduos lignocelulósicos para utilização como combustível sólido.** Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2011.

CHRISOSTOMO, W.; COSTA, D. R. **A influência do teor de umidade no processo de formação de briquetes de serragem,** 2007.

QUIRINO, W. F. Briquetagem de resíduos ligno-celulósicos. 2001. Disponível em: <<http://www.funtec.org.br/arquivos/briquetagem.pdf>>. Acesso em 29 de agosto 2012.

SILVA, D. A. *et al.* **Análise de diferentes teores de umidade na compactação de resíduos de *Pinus*.** In: 6º Congresso Internacional de Bioenergia, 2011, Curitiba.