

III-177 – AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE DENSIDADE APARENTE, CARGA MÁXIMA DE RUPTURA E UMIDADE DE EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO DE BRIQUETES PRODUZIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA TÊXTIL

Nayara Vilela Avelar⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Engenharia Civil pela UFV. Doutoranda em Engenharia Civil na UFV.

Ana Augusta Passos Rezende

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Mestre em Engenharia pela Universidade de Toronto, Canadá. Doutora em Engenharia Agrícola pela UFV. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil da UFV.

Angélica de Cássia Oliveira Carneiro

Engenharia Florestal pela UFV. Mestre em Ciência Florestal pela UFV. Doutora em Ciência Florestal pela UFV. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal da UFV.

Cláudio Mudado Silva

Engenheiro Civil pela UFMG. Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UFMG. Ph.D. em Engenharia Química pela Universidade de Toronto, Canadá. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal da UFV.

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil. Avenida Ph Holfs s/n - Centro - Viçosa - MG - CEP: 36570-000 - Brasil - Tel: (31) 3899--1481 - e-mail: nayaravilela@gmail.com

RESUMO

O gerenciamento ambiental adequado dos resíduos sólidos industriais permite a sua utilização como matéria-prima para outros processos, como, por exemplo, a obtenção de energia, garantindo uma produção sustentável, além da minimização dos impactos ambientais. O processo de briquetagem apresenta-se como uma alternativa atrativa para otimizar o manuseio e transporte de resíduos sólidos, como o resíduo de algodão e o lodo biológico de estação de tratamento de efluentes, oriundos da indústria têxtil. O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o potencial de aproveitamento desses resíduos para a fabricação de briquetes. Os briquetes foram produzidos em uma briquetadeira laboratorial, com cinco proporções de lodo biológico e resíduo de algodão (0%, 25%, 50%, 75% e 100%), na pressão de 1.200 PSI, temperatura de 90°C, tempo de aquecimento e resfriamento de 5 minutos cada. As propriedades físicas e químicas dos resíduos demonstraram que os mesmos apresentam potencial para a briquetagem. Foram avaliadas a densidade aparente, a carga máxima de ruptura e a umidade de equilíbrio higroscópico dos briquetes. Pode-se concluir que os briquetes com menores proporções de lodo tiveram maior carga máxima de ruptura e baixa umidade de equilíbrio higroscópico.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo Biológico, Resíduo de Algodão, Aproveitamento de Resíduos Industriais, Briquetagem.

INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos representam um dos grandes desafios do século XXI, chamando a atenção pelo crescente aumento na sua geração e pelo reconhecido déficit de soluções ambientalmente adequadas quanto à disposição final e/ou reaproveitamento/reciclagem, sendo estas últimas ainda incipientes no Brasil. Além do aumento da quantidade gerada, são descartados, diariamente, no ambiente, resíduos de composições cada vez mais complexas, limitando a capacidade de assimilação destes pelo ambiente natural e tornando ainda mais difíceis e onerosos os processos de reaproveitamento/reciclagem. Somados aos impactos ambientais causados pela disposição inadequada, a geração de resíduos retrata um grande desperdício de matéria-prima e energia.

As indústrias têxteis são grandes geradoras de resíduos, tais como os resíduos de algodão e restos de fios e aparas, embalagens de insumos e matérias-primas, resíduos de escritório e refeitório, resíduos de varrição, óleo lubrificante, pós, cinzas e lodos dos sistemas de tratamento de efluentes.

Uma das alternativas de reutilização desses materiais seria a produção de briquetes para geração de energia. O processo de briquetagem consiste, basicamente, na aplicação de pressão em uma massa de partículas dispersas, com objetivo de torná-las um sólido geométrico compacto de alta densidade. Por meio desse processo, os resíduos sólidos são transformados em um produto de alto valor combustível, sendo empregado na combustão para fins de geração de energia. Essa técnica, além de agregar valor econômico aos resíduos sólidos, também minimiza os impactos ambientais negativos gerados pela sua disposição inadequada, além de facilitar o manuseio e o transporte.

O reaproveitamento energético de resíduos industriais, a partir da briquetagem, pode ser considerado uma alternativa ambientalmente correta de destinação, mediante a avaliação de seus possíveis impactos, principalmente de seus subprodutos, ou dos produtos gerados, em específico as cinzas e os gases resultantes do processo de combustão.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de aproveitamento de resíduos da indústria têxtil, o resíduo de algodão e o lodo biológico gerado no tratamento dos efluentes industriais, na fabricação de briquetes. Foram avaliadas as propriedades de densidade aparente, carga máxima de ruptura e umidade de equilíbrio higroscópico do produto final para o transporte ou armazenamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Celulose e Papel, Laboratório de Painéis e Energia da Madeira e Laboratório de Resíduos Sólidos da Indústria Florestal, sendo toda estrutura física do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa.

Para a produção dos briquetes foram utilizados os resíduos provenientes da indústria têxtil, tais como: resíduo de algodão e lodo biológico oriundo da estação de tratamento de efluentes (Figura 1).

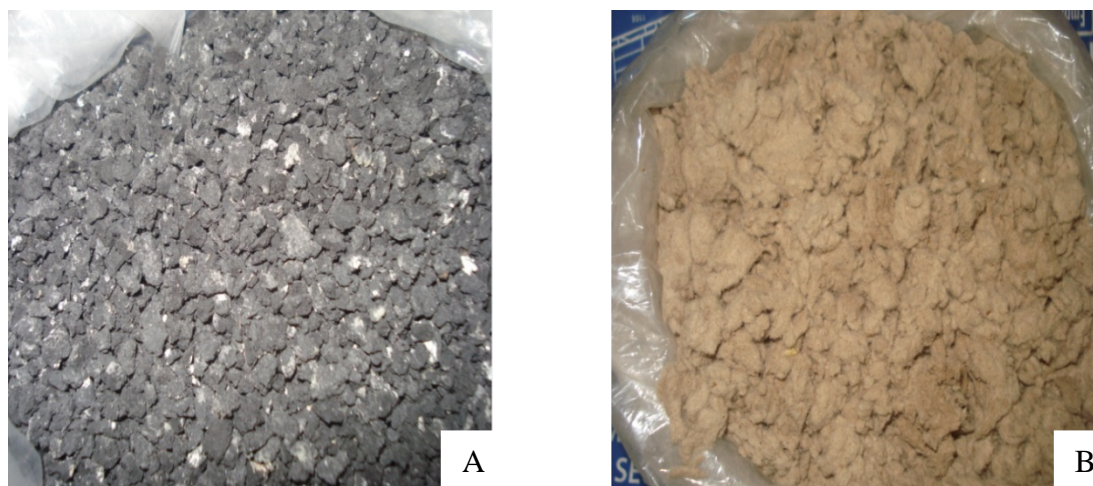


Figura 1: Resíduos estudados: (A) lodo biológico; (B) resíduo de algodão.

Inicialmente, foi determinada a umidade *in natura* dos resíduos, de acordo com a norma NBR 7993 (ABNT, 1983). Determinou-se também a composição química elementar (carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre e oxigênio), utilizando-se um analisador elementar Perkin Elmer, PE-2400, série II. A análise química imediata (materiais voláteis, carbono fixo e teor de cinzas) foi realizada segundo a norma NBR 8112 (ABNT, 1986). O poder calorífico superior foi obtido experimentalmente por meio do método da bomba calorimétrica adiabática,

de acordo com a norma ASTM D2015 (ASTM, 1982). Já os poderes caloríficos inferior e útil foram obtidos por meio das equações (1) e (2) a seguir.

$$PCI = PCS - [600(9H/100)] \quad \text{equação (1)}$$

Onde

PCS = poder calorífico superior (kcal.kg^{-1})

H = teor de hidrogênio da biomassa (%)

$$PCU = PCI (1 - W) - (600W) \quad \text{equação (2)}$$

Onde

PCU = poder calorífico útil (kcal.kg^{-1})

W = umidade

PCI = o poder calorífico inferior obtido pela equação 1.

Para o processo de briquetagem é necessário que o teor de umidade dos resíduos esteja compreendido na faixa de 8% a 15%. Assim, o lodo biológico, com umidade inicial de 90%, foi disposto em pátio para secagem ao ar livre, até atingir umidade média de 8%. O resíduo de algodão com umidade in natura de 9% não passou pelo processo de secagem.

Os briquetes foram produzidos em uma briquetadeira laboratorial, a partir de cinco proporções diferentes da mistura de lodo biológico e resíduo de algodão (0, 25, 50, 75 e 100%), totalizando uma massa de 18g de resíduo por briquete. Foi utilizada a pressão de 1.200 PSI para compactação dos resíduos, durante 5 minutos e tempo de resfriamento de 5 minutos, à uma temperatura de 90°C. A Figura 2 mostra a etapa de produção de briquetes a partir da mistura dos resíduos em uma briquetadeira laboratorial.

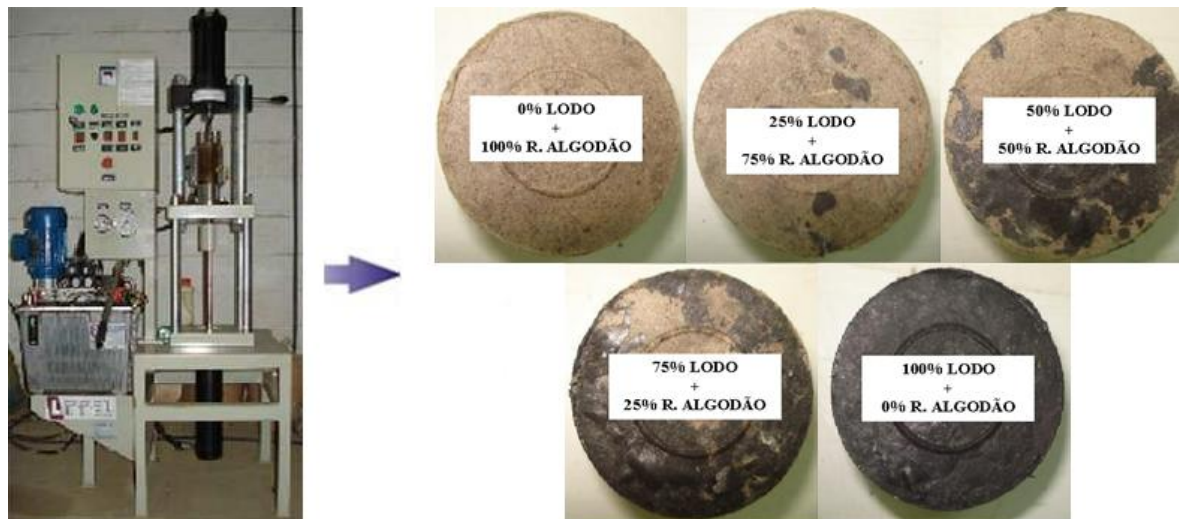


Figura 2: Produção de briquetes em diferentes proporções de lodo biológico com resíduo de algodão.

Os briquetes foram caracterizados e avaliados de acordo com a densidade aparente, carga de ruptura máxima e umidade de equilíbrio higroscópico. A densidade aparente foi determinada pelo método de imersão em mercúrio (Hg), de acordo com Vital (1984). Para determinação da carga de ruptura máxima, utilizou-se uma máquina de testes universal modelo LOSENHAUSEN. A carga máxima de ruptura foi obtida aplicando-se uma força de compressão ao briquete, velocidade de descida de $3,5 \text{ mm.min}^{-1}$. O resultado foi gerado por um software (Pavtest) acoplado ao equipamento. O procedimento de análise foi de acordo com a metodologia NBR 7190 – Anexo B (ABNT, 1997), uma vez que não se tem normas específicas para testes em briquetes. A umidade de equilíbrio higroscópico foi determinada após acondicionamento dos briquetes à temperatura de 23°C e 65% de umidade relativa, em câmara climática, até atingirem massa constante.

A Figura 3 apresenta os ensaios feitos durante as análises de densidade aparente e carga de ruptura máxima para os briquetes.

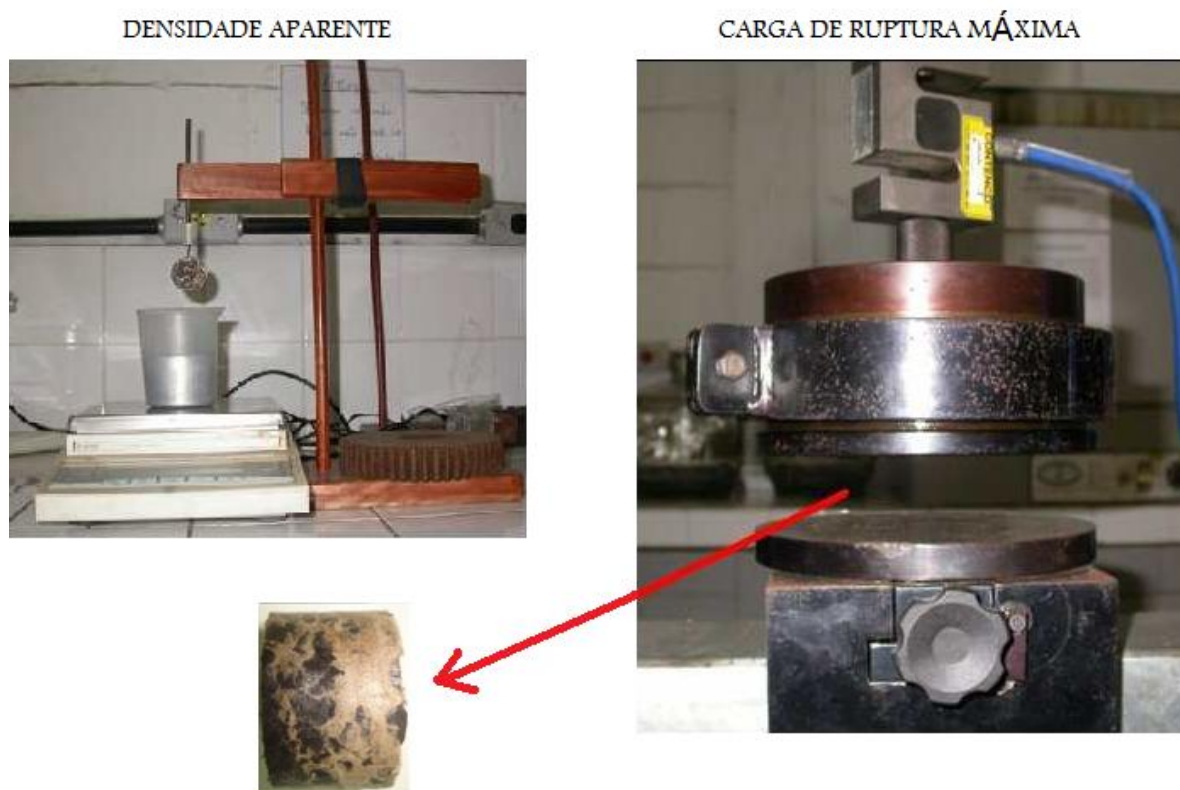


Figura 3: Análises de densidade aparente e carga de ruptura máxima feito nos briquetes.

O experimento foi realizado segundo um delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições, em que foram analisados os efeitos das cinco proporções de misturas entre os resíduos sobre a densidade aparente, carga máxima de ruptura e umidade de equilíbrio higroscópico. O efeito de cada proporção de lodo biológico misturados ao resíduo de algodão foi estudado pelo teste F, e quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os resultados de umidade *in natura*, umidade após secagem ao ar livre, composição química elementar (% C, H, N, S, O), análise química imediata (materiais voláteis carbono fixo e teor de cinzas), poder calorífico superior, poder calorífico útil e poder calorífico inferior.

Tabela 1: Características físico-químicas dos resíduos.

Parâmetros	Resíduos	
	Lodo biológico	Resíduo de algodão
Umidade <i>in natura</i> (%)	90	9,0
Umidade após secagem (%)	8,2	-
Composição elementar (% C, H, N, S, O)	46,7-6,5-6,2-1,3-27,5	41,4-5,9-1,1-0,4-42,3
Materiais voláteis (%)	81,0	90,2
Carbono fixo (%)	11,8	8,93
Teor de cinzas (%)	7,21	0,86
Poder calorífico superior (MJ.kg ⁻¹)	21,82	17,89
Poder calorífico inferior (MJ.kg ⁻¹)	20,35	16,65
Poder calorífico útil (MJ.kg ⁻¹)	18,48	14,84

A umidade encontrada no lodo biológico (8,2%), após a secagem ao ar livre, e no resíduo de algodão (9%) pode ser considerada relativamente baixa e adequada para a combustão e densificação. As características físico-químicas apresentadas na Tabela 1 demonstram a grande viabilidade da utilização dos resíduos estudados para a fabricação de briquetes e como material combustível nos processos de combustão. Pois, para se ter uma boa combustão, o combustível deve possuir baixos teores de umidade e cinzas, elevado teor de carbono fixo e material volátil, além de alto poder calorífico superior (AVELAR *et al.*, 2012). Quanto maior o teor de carbono e hidrogênio, melhor será a combustão (SENA, 2005). No entanto, o lodo biológico apresentou alto teor de nitrogênio, que pode formar gases NOx durante a combustão.

Para se estudar a viabilidade de estocagem e transporte dos briquetes devem ser analisados os seguintes parâmetros: densidade aparente, carga máxima de ruptura e higroscopicidade. Logo, materiais com densidades maiores facilitam o armazenamento. Já a carga máxima de ruptura e a higroscopicidade dos briquetes são importantes para avaliar a estrutura física destes materiais em relação aos impactos sofridos durante o armazenamento e o transporte (RODRIGUES, 2010). As figuras 4, 5 e 6 apresentam os resultados de densidade aparente, carga de ruptura máxima e umidade de equilíbrio higroscópico para os briquetes, respectivamente.

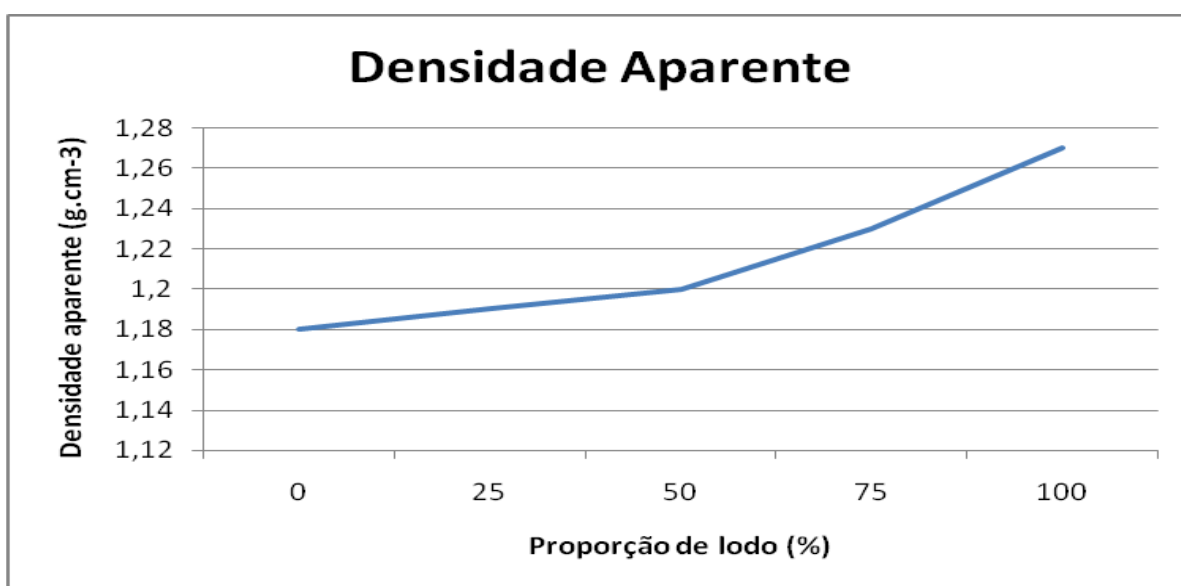


Figura 4: Densidade aparente dos briquetes.

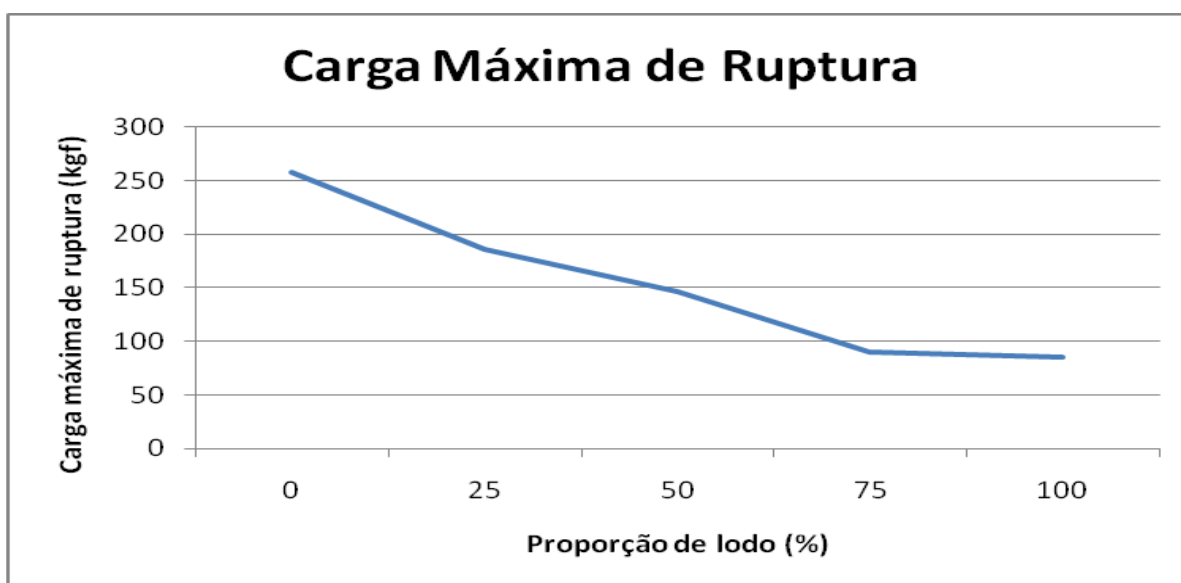


Figura 5: Carga máxima de ruptura dos briquetes.

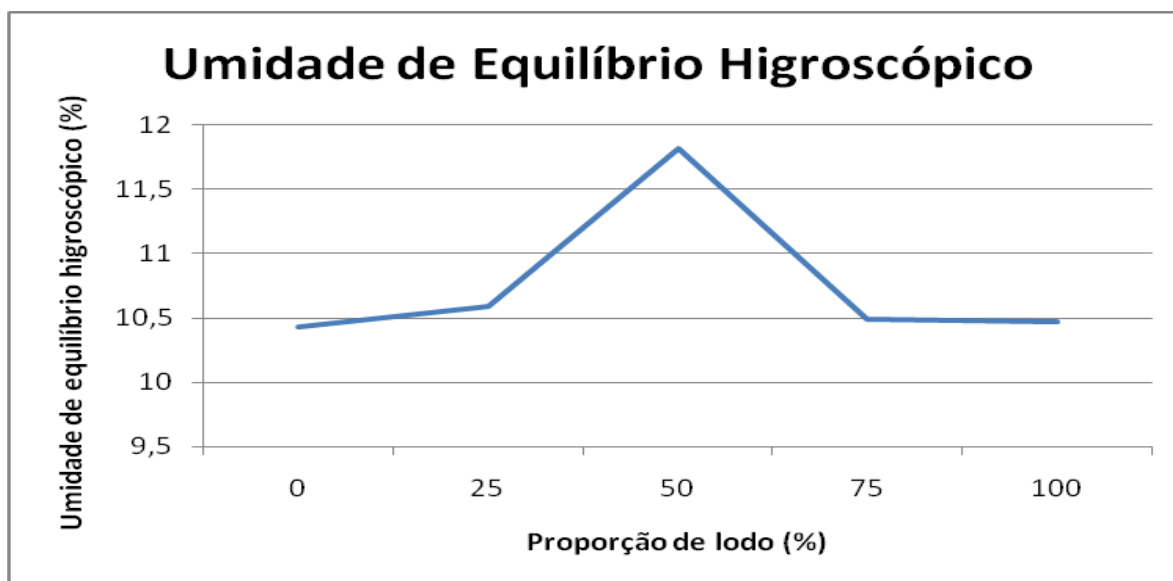


Figura 6: Umidade de equilíbrio higroscópico dos briquetes.

A densidade expressa a quantidade de material por unidade de volume, portanto, quanto maior, mais concentrada está a energia e, assim, tem-se um briquete com maior potencial energético em um mesmo volume (FURTADO et al., 2010). Observa-se, pela Figura 4, que a densidade aparente aumentou com a adição do lodo na composição da mistura dos briquetes. Isso se deve à alta densidade do lodo biológico.

Através da Figura 5, verifica-se que à medida que aumentou o percentual de lodo na composição dos briquetes, a resistência dos mesmos foi reduzida. Isso pode ser explicado pelo fato de o lodo biológico ser um material de composição mais heterogênea e menos lignificada que o resíduo de algodão e, portanto, com maior dificuldade de aglutinação das partículas, o que resulta na menor resistência dos briquetes. Durante o ensaio de compressão foi observado que os briquetes produzidos com maior percentual de lodo fragmentaram, enquanto os produzidos com maior percentual de resíduo de algodão permaneceram com sua estrutura inicial mais intacta.

O conhecimento da umidade de equilíbrio higroscópico dos briquetes é de grande importância, pois o baixo percentual de umidade favorece o transporte, ou seja, diminui os custos visto que a quantidade de energia por volume transportado é muito maior. Além disso, a baixa umidade de equilíbrio higroscópico confere aos briquetes seu formato compactado e, conseqüentemente, maior resistência física e mecânica (VILAS BOAS, 2011). De acordo com Figura 6, observou-se que, de modo geral, a umidade de equilíbrio higroscópico dos briquetes não foi afetada pela proporção de lodo utilizada, exceto para os briquetes produzidos com 50% de lodo biológico.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

As características físico-químicas analisadas demonstraram que os resíduos estudados, lodo biológico e resíduo de algodão, podem ser utilizados na produção de briquetes;

Em relação às diferentes misturas de lodo biológico e resíduo de algodão utilizadas durante a briquetagem, verificou-se que o lodo biológico melhorou as características dos briquetes em relação à densidade aparente, e a adição de resíduo de algodão aumentou a carga de ruptura máxima, já a umidade de equilíbrio higroscópico não foi afetada pela proporção de lodo utilizada;

A produção de briquetes a partir da mistura entre os dois resíduos nas proporções de 25% de lodo mostrou-se interessante para o armazenamento e transporte, pois, com essa porcentagem, conseguem-se briquetes com alta densidade aparente e carga máxima de ruptura e baixa umidade de equilíbrio higroscópico. Embora seja necessário definir a proporção que minimize também o teor de cinzas e emissões atmosféricas;

A fabricação de briquetes com lodo e resíduo de algodão e o seu uso como combustível representam uma forma ambientalmente adequada de reaproveitamento destes resíduos nas indústrias, aumentando seu ciclo de vida e agregando valor econômico aos resíduos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D2015 – Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter. Philadelphia, USA, 1982.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7993 – Determinação da umidade da madeira por secagem em estufa quando reduzida à serragem. Rio de Janeiro, 1983.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 8112 – Análise química imediata do carvão vegetal. Rio de Janeiro, 1986.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7190 – Anexo B – Métodos de ensaio para determinação das propriedades da madeira para projetos de estrutura – resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.
5. AVELAR, N. V.; REZENDE, A. A. P.; CARNEIRO, A. C. O.; SILVA, C. M. Utilização de resíduos sólidos da indústria têxtil para fins energéticos. XV SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2012. Anais. Belo Horizonte MG, 2012.
6. FURTADO, T. S.; VALIN, M.; BRAND, M.; BELLOTE, A. F. J. Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal. Pesquisa Florestal Brasileira, v.30, n.62, p.101-106, mai./jul. 2010.
7. RODRIGUES, V. A. J. Valorização energética de lodo biológico da indústria celulósica através da briquetagem. Viçosa. 2010. Dissertação de Mestrado-Universidade Federal de Viçosa, 2010.
8. SENA, R. F. D. Avaliação da biomassa obtida pela otimização da flotação de efluentes da indústria de carnes para geração de energia. Florianópolis. 2005. Dissertação de Mestrado-Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
9. VILAS BOAS, M. A. Efeito do tratamento térmico da madeira para produção de briquetes. Viçosa. 2011. Dissertação de Mestrado-Universidade Federal de Viçosa, 2011.
10. VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa: SIF, 21p., 1984. (Boletim técnico, 1)