



PROPRIEDADES DE BRIQUETES PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE PODA URBANA E PAPELÃO ONDULADO

Bráulio da S. de OLIVEIRA^{1*}, Marina M. de SOUZA², Angélica de C. O. CARNEIRO², Rafael R. Teixeira², Admilson C. BARBOSA², Benedito R. VITAL², Juliana J. BIANCHE² e Ana C. S. SILVA²

¹ - Departamento de Geografia, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil *brawlyo_bso@hotmail.com

² - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil

Resumo: O presente estudo teve por objetivo avaliar as propriedades de briquetes produzidos com resíduos de poda urbana e papelão ondulado para produção de energia. A escolha dos materiais foi devido à facilidade de encontra-los no ambiente e também por haver poucos estudos relacionados a eles na literatura. O trabalho foi dividido em duas etapas, inicialmente, foram determinadas as características físicas e químicas dos resíduos, na sequência foram produzidos briquetes compostos por diferentes proporções destes resíduos, usando como base para as misturas os resíduos de poda de árvores, devido a sua composição lignocelulósica; também foram feitas análises químicas e físicas nos briquetes para avaliar se o processo de compactação das misturas foi eficiente e se o produto final apresentou características energéticas favoráveis ao uso. Observou-se que, os resíduos de poda urbana e papelão ondulado apresentaram características favoráveis para o uso como biocombustível. Concluindo que podem ser uma alternativa sustentável para produção de energia, desde que otimizadas as proporções das misturas dos materiais.

Palavras-chave: Energia, Impacto Ambiental, Biocombustível.

Abstract: This study aimed to evaluate the properties of briquettes produced with urban pruning waste and corrugated for energy production. The choice of materials was due to easy find them and also because there are few studies related to them in the literature. The work was divided into two stages, initially, were determined the physical and chemical characteristics of the residues, in sequence were produced briquettes composed of different proportions, using the urban pruning residues as the basis for the different blends, mainly because of its lignocellulosic composition; chemical and physical analysis were also made in the briquettes to analyze if the compactation process of the mixtures was effective and if the final product has favorable characteristics for energy use. It was observed that urban pruning residues and corrugated, showed favorable characteristics for use as biofuel. Concluding that can be a sustainable alternative to energy production. Regards about the mixing ratios of the residues should be taken to optimize the overall process.

Keywords: Energy, Environmental Impact, Biofuel.

1. Introdução

Os problemas relacionados ao meio ambiente devido à dependência energética de combustíveis fósseis têm demandado um constante desenvolvimento de novos modelos



sustentáveis e renováveis de obtenção de energia, estes devem ser economicamente eficientes, tecnicamente viáveis e principalmente capazes de suprir a demanda crescente de energia, tanto em escala local quanto mundial. Dentre as possíveis fontes alternativas de energia, os resíduos sólidos urbanos podem exercer um importante papel neste cenário, visto que a geração destes materiais no ambiente urbano pode ser considerada constante e também possuem a principal característica de serem uma fonte renovável e ambientalmente confiável para prover energia.

Os resíduos sólidos urbanos geralmente possuem grande heterogeneidade, valores elevados de umidade, forma e granulometria irregular e baixa densidade a granel, o que por sua vez levam a dificuldades de manuseio, transporte, estocagem e utilização na sua forma original (Li; Liu, 2000; Kaliyan; Morey, 2009). Um resíduo sólido urbano muito comum é o resultante da poda de árvores e outros vegetais que compõe a arborização dos municípios. Apesar de alguns trabalhos feitos na tentativa de aproveitar estes resíduos, pesquisas apontam que este material vem sendo, em grande quantidade, descartados em aterros na maioria dos municípios (CENBIO, 2007).

Embora a classificação dos resíduos de poda de acordo com a NBR 10.004/2004 seja classe II, não perigoso, a disposição destes em aterros pode provocar uma série de problemas, pois podem interagir quimicamente e biologicamente com materiais preexistentes, causando impactos sobre a qualidade do solo, água e ar (CORTEZ *et al.*, 2008).

O papelão ondulado também é um dos produtos mais encontrados dentre os resíduos sólidos urbanos e é comumente separado como lixo seco para reciclagem. Este material é muito utilizado como embalagem para produtos diversos devido a sua versatilidade e uma gama de outras vantagens competitivas em relação a outros produtos tendo, dentre a mais importante delas, o fato de ser 100% reciclável. Apesar da alta taxa de reaproveitamento do papelão, observam-se algumas inconveniências como, por exemplo, contaminação ou perda de resistência das chapas devido à danificação das fibras durante os vários ciclos de reciclagem.

Diante disto é necessário buscar formas de uso mais eficiente destes combustíveis, buscando assim padronizar e aumentar a qualidade dos mesmos, enquanto fontes energéticas. Para isso existem diversos processos, dentre os quais se destaca a briquetagem.

A briquetagem consiste em comprimir uma massa de partículas a pressões elevadas, o que ocasiona atrito e o aumento de temperatura (VILAS BOAS, 2011), caso haja dentre as matérias-primas resíduos lignocelulósicos, a lignina irá plasticizar e agir como elemento ligante; caso não haja este componente é necessário adicionar substâncias capazes de estabelecer esta ligação.

Embora os combustíveis compactados apresentem diversas qualidades energéticas e operacionais quando comparados aos materiais *in natura*, há de serem observados vários fatores que podem afetar sua qualidade para utilização, dentre eles: a composição química, poder calorífico, distribuição granulométrica, umidade, conteúdo de cinzas e comportamento térmico (MARAVÉ, 2013), além disso, a produção de briquetes apresenta diversas vantagens, destacando-se a redução do volume dos resíduos associado ao menor custo de transporte e armazenamento e o aumento do conteúdo calorífico do material por unidade de volume (VILAS BOAS, 2011).

Desta forma, considerando a necessidade de pesquisas na área de utilização de resíduos sólidos urbanos para produção de energia, desenvolveu-se este estudo cujos objetivos foram: caracterizar, sob o ponto de vista energético, dois tipos de resíduos sólidos comumente encontrados em centros urbanos e avaliar os briquetes compostos por estes resíduos.

2. Material e métodos

Para a produção dos briquetes foram utilizados resíduos sólidos urbanos provenientes da poda de árvores do ambiente urbano e papelão ondulado.

Os resíduos de poda de árvores foram coletados em um Centro de Processamento da cidade de Santo Amaro –SP e foram provenientes das atividade de poda da região Sul da cidade de São Paulo-SP. De acordo com dados provenientes deste Centro, as espécies arbóreas mais frequentes na área metropolitana de São Paulo são: *Ficus* sp., *Caesalpinia peltophoroides* (Benth), *Licania Tomentosa* (Benth), *Tabebuia* sp. e *Largestroemia indica* (L.), sendo assim, as amostras foram compostas predominantemente por estas espécies além de gramíneas, pecíolos de palmeiras e alguns materiais parcialmente decompostos.

O papelão ondulado foi obtido em centros de triagem de material reciclável da cidade de Viçosa- MG. O material foi coletado sem nenhuma contaminação visível, como manchas de óleo ou adesivos plásticos.

A preparação dos resíduos para a produção dos briquetes consistiu basicamente da moagem em moinho de martelo, dotado de peneira de 6 mm.

Os resíduos foram previamente caracterizados sob o ponto de vista energético de acordo com a umidade, densidade a granel, poder calorífico de acordo com as respectivas normas técnicas.

Os briquetes foram produzidos usando como base os resíduos de poda urbana devido sua composição lignocelulósica, que é adequada ao processo de compactação, uma vez que, com o aumento da pressão e temperatura durante a compactação, ocorre a “plastificação” da lignina, fazendo com que ela atue como aglutinante das partículas, dispensando o uso de aglutinantes químicos. O experimento foi conduzido com briquetes constituídos por resíduos de poda e papelão ondulado, sendo 11 tratamentos (Tabela 1), compostos de misturas de 0 até 100% (amplitude de 10%).

Tabela 1. Delineamento experimental utilizado para a produção de briquetes produzidos com resíduos de Poda Urbana e Papelão Ondulado.

Composição de Resíduos por Tratamento		
Tratamento	(%) Poda Urbana	(%) Papelão Ondulado
T1	100	0
T2	90	10
T3	80	20
T4	70	30
T5	60	40
T6	50	50
T7	40	60
T8	30	70
T9	20	80
T10	10	90
T11	0	100

Foi utilizada uma briquetadeira laboratorial da marca Lippel modelo LB-32, ajustada na temperatura de 120°C, o tempo de prensagem e de resfriamento dos briquetes foram ambos de 5 minutos e a pressão de compactação utilizada foi de 1200 PSI.

Para a produção de cada briquete foi utilizado 16,0g de mistura de materiais, na granulometria inferior que 6 mm e teor de umidade entre 8 e 12%, base seca. Após a

produção, os briquetes foram condicionados em câmara climática até atingir a umidade de equilíbrio, nas condições de 65 ± 3 % de umidade e temperatura de 20 ± 3 °C.

A umidade de equilíbrio higroscópico foi obtida após climatização dos briquetes em câmara climática a 23°C e 65% de umidade relativa, como descrito na NBR 7190 (ABNT, 1997).

A densidade aparente foi determinada de acordo com o método descrito na NBR 11941 (ABNT, 2003), utilizando-se uma balança hidrostática para determinação do volume deslocado.

A densidade a granel foi determinada como descrito na NBR 6922 (ABNT, 1981).

O poder calorífico superior foi determinado como descrito na NBR 8633 (ABNT, 1984), em duplicatas, utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática. A densidade energética foi calculada pela multiplicação da densidade a granel pelo poder calorífico.

A determinação do teor de cinzas foi realizada de acordo com a NBR 8112 (ABNT, 1986).

O experimento foi analisado segundo um delineamento inteiramente casualizado.

Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors para testar a normalidade, e Cochran para testar a homogeneidade das variâncias.

Em seguida, procedeu-se à análise de variância pelo teste *F*, sendo as médias comparadas pelo teste Skott-Knott (agrupamento).

Considerou-se sempre o nível de significância de 5%. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa R versão 2.13.1.

Realizaram-se gráficos de regressão linear simples e quadrática, dependendo do comportamento dos dados, sendo:

$$\text{Linear: } Y = \beta_1 \cdot x + \beta_0$$

$$\text{Quadrática: } Y = \beta_2 \cdot x^2 + \beta_1 \cdot x + \beta_0$$

3. Resultados e discussões

3.1. Características dos Resíduos sólidos urbanos

Na Tabela 2 são apresentadas as principais propriedades dos resíduos utilizados para a produção dos briquetes.

Tabela 2. Propriedades dos resíduos sólidos urbanos

Parâmetros	Resíduo	
	Poda Urbana	Papelão Ondulado
Umidade (%)	10,42	9,58
Densidade a granel (Kg/m ³)	240	30
Cinzas (%)	5,23	3,92
PCS (Kcal/Kg)	5059	4220

Observa-se que a umidade de equilíbrio higroscópica do papelão ondulado foi menor que a observada para os resíduos de poda urbana, possivelmente devido a sua condição menos hidrofílica em função da presença de adesivos na composição do papel. Os maiores teores de



cinzas obtidos para a poda urbana se deve a deposição de partículas inorgânicas presente no ar do ambiente urbano sobre as folhas e casca das árvores, além de outros materiais suspensos no ar como fuligem de escapamento de automóveis.

Os valores de densidade e poder calorífico superior podem ser explicados devido à composição química e estrutural dos resíduos. Segundo Jara (1989), o poder calorífico superior da madeira é influenciado pela constituição química da madeira, principalmente a lignina e extrativos (resinas, óleos-resinas, matérias graxas, óleos, etc), sendo que, a lignina relaciona-se positivamente com o poder calorífico, além de que aliada aos demais constituintes auxiliam no aumento de massa do material, sendo assim, devido à concentração mais elevada de lignina e principalmente de extrativos nos resíduos de poda urbana, em relação à constituição altamente fibrosa do papelão, eram esperado os valores encontrados.

3.2. Características dos Briquetes compostos por resíduos de poda urbana e papelão ondulado

Na Tabela 3 são apresentadas as características físicas dos briquetes produzidos em função das porcentagens de papelão ondulado e resíduos de poda urbana.

Tabela 3. Características físicas dos briquetes de poda urbana e papelão ondulado

Tratamentos (% Papelão ondulado)	Altura (%)	Diâmetro (%)	Massa (%)	Densidade (g.cm ⁻³)
0,0	2,982 b	0,692 a	2,576 c	1,128 e
10,0	5,484 a	0,364 a	3,387 a	1,099 g
20,0	6,851 a	0,292 a	3,376 a	1,095 g
30,0	6,946 a	0,565 a	3,538 a	1,101 g
40,0	6,340 a	1,225 a	3,417 a	1,095 g
50,0	5,291 a	0,779 a	3,498 a	1,120 f
60,0	7,932 a	1,653 a	3,452 a	1,139 e
70,0	8,373 a	1,757 a	3,493 a	1,172 d
80,0	2,969 b	0,558 a	2,265 d	1,221 c
90,0	5,926 a	0,731 a	2,147 d	1,248 b
100,0	6,560 a	0,955 a	2,823 b	1,279 a

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, não diferem entre si pelo teste Skott-Knott, a 5% de significância.

Verificou-se um aumento da densidade aparente dos briquetes com a adição do resíduo de papelão. Isso se deve a maior taxa de compactação aplicada na confecção dos briquetes com maior percentual de papelão ondulado, pois quanto maior o volume inicial das partículas maior a taxa de compactação aplicada para um mesmo volume final do briquete (RODRIGUES, 2010). Paula (2010) produziu briquetes com diferentes biomassas agroflorestal, e obteve valores médios de densidade de 0,903, 1,077 e 0,946 g.cm⁻³, para madeira, casca de arroz e pergaminho de café, respectivamente. Os valores determinados por essa autora foram inferiores aos obtidos para os briquetes compostos por papelão e resíduos de poda, que variaram entre 1,10 e 1,28 g.cm⁻³.



Na Figura 1, são apresentadas as regressões para a análise dos parâmetros determinados em função das porcentagens de resíduos de poda urbana e papelão ondulado presente nos briquetes.

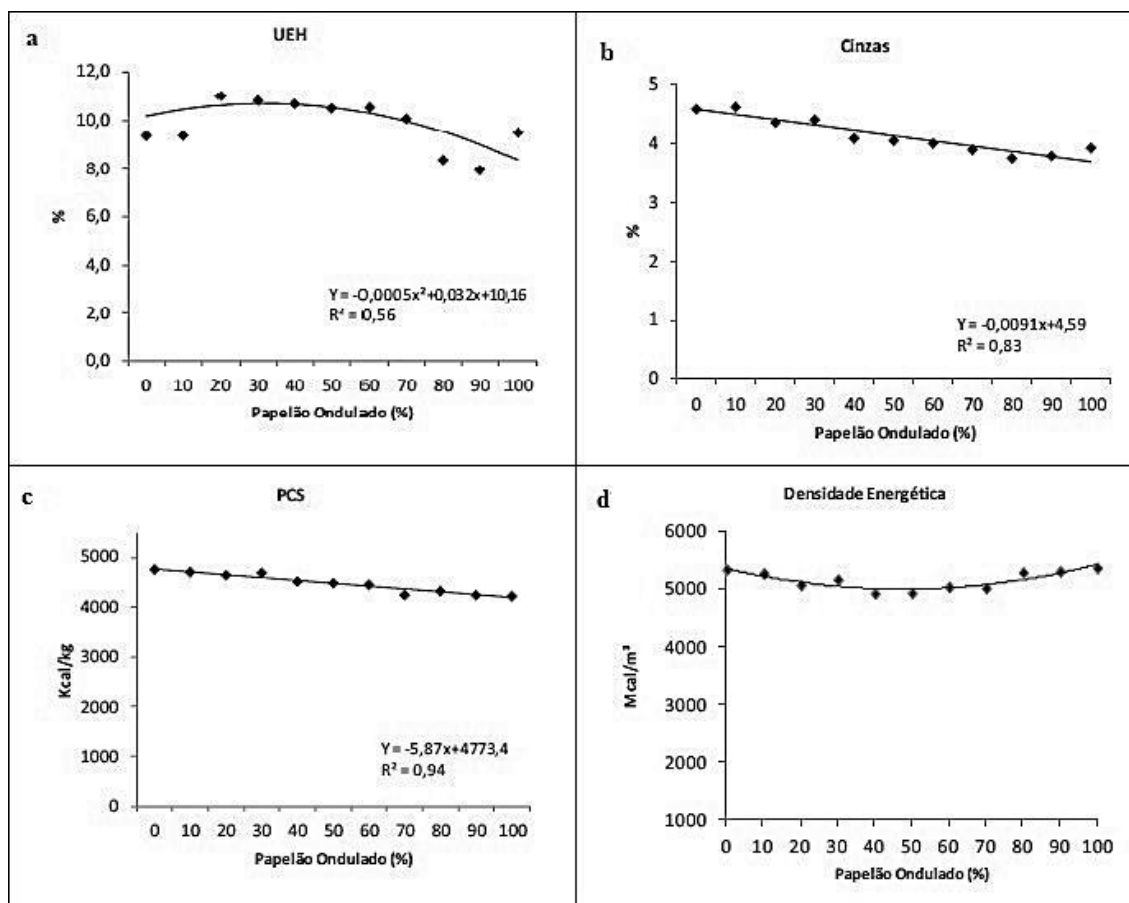


Figura 1. Valores observados e estimados em função dos resíduos de poda urbana e papelão ondulado.

Houve uma pequena redução da umidade de equilíbrio higroscópico dos briquetes com o aumento da proporção de papelão na composição (Figura 1A), tendo os valores médios compreendidos entre 7,9 a 11%. Isso se deve, provavelmente, a composição menos hidrofílica do papelão em relação à madeira, e também pela sua baixa densidade, o que contribui para uma melhor compactação e conseqüente redução da área superficial dos briquetes.

Foi verificado também que, o teor de cinzas reduziu com o aumento da proporção de papelão na composição dos briquetes (Figura 1B). Fato esse esperado devido ao papelão ser mais homogêneo que os resíduos de poda e possuir menos inorgânicos em sua composição. No entanto, não se observou um aumento do poder calorífico (Figura 1C), provavelmente ocasionado pelo maior poder calorífico do resíduo de poda urbana em relação ao papelão, assim sendo, à medida que a proporção de papelão aumentou, ocorreu por conseqüência à redução do poder calorífico dos briquetes com maiores concentrações deste resíduo. Vale salientar que, embora a adição de papelão acarrete uma redução na quantidade de energia disponível no briquete, a redução no teor de cinzas deve ser considerada também, uma vez que a geração de cinzas acarreta em uma maior quantidade de resíduo após a combustão, além de que, o contato deste resíduo com as partes metálicas favorecem a corrosão, diminuindo



assim a vida útil do equipamento utilizado. Assim a utilização de misturas de materiais para produção industrial de briquetes devem ser otimizadas, visando um adequado fornecimento de energia e uma baixa produção de cinzas, que está atrelada ao bom funcionamento e aumento de vida útil dos equipamentos.

4. Conclusões

Os briquetes foram produzidos com estruturação e compactação adequada, sendo que a adição de resíduos de papelão ondulado na composição dos briquetes proporcionou um aumento na densidade aparente. A umidade de equilíbrio higroscópico é inversamente proporcional ao aumento da proporção de papelão contido nos briquetes.

Houve redução na porcentagem do teor de cinzas com a adição dos resíduos de papelão ondulado, o que é uma das variáveis de interesse, uma vez que esta ligada a uma maior vida útil dos equipamentos e melhoras para a limpeza dos mesmos com o decorrer do tempo.

Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11941-02 - Determinação da densidade básica em madeira.** Rio de Janeiro, 2003. 6p.

_____**NBR 6922 – Carvão vegetal - Ensaios físicos determinação da massa específica (densidade a granel).** Rio de Janeiro, 1981.

_____**NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira.** Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

_____**NBR 7993 – Determinação da umidade da madeira por secagem em estufa quando reduzida à serragem.** Rio de Janeiro, 1983.

_____**NBR 8112 – Análise química imediata do carvão vegetal.** Rio de Janeiro, 1981.

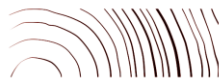
_____**NBR 8633 – Carvão vegetal – Determinação do poder calorífico.** Rio de Janeiro, 1986.

CENBIO, **3º Relatório parcial do projeto Fortalecimento Institucional do Centro nacional de Referência em Biomassa, 2007.**

CORTEZ, C. L.; COELHO S. T.; GRISOLI, R.; GRAVIOLI F. **Compostagem de resíduos de poda urbana.** Disponível em http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/notatecnica_ix.pdf. Acesso: 15 de maio 2011.

JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797)

KALIYAN N, MOREY R.V. **Factors affecting strength and durability of densified biomass products.** Biomass and Bioenergy, v.33, n. 3, p. 337-359, 2009.



Li Y, Liu H. **High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. Biomass Bioenergy**, v.19, n.3, p. 177–186, 2000.

MARAVÉ, A.G. **Optimization of the pelletization process of agricultural wastes originating from olive farms for their application in domestic boilers**. 2013. 275f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Meio Ambiente). Universidade de Granada. Granada. 2013. Disponível em < <http://hera.ugr.es/tesisugr/21863027.pdf>> Acesso em 21 de abril 2014.

PAULA, L.E. e R. **Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos**. 2010. Dissertação (Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade Federal de Lavras. Lavras. 83f. 2010.

RODRIGUES, V.A.J. **Valorização energética de lodo biológico da indústria de polpa celulósica através da briquetagem**. 2010.134f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2010.

VILAS BOAS, M.A. **Efeito do tratamento térmico da madeira para produção de briquetes**. 2011.65f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2011

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 21 p., 1984