

III-004 - BRIQUETES COMO ALTERNATIVA PARA REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MADEIREIRAS

Diogo Rodrigues Dias⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pelo Centro Universitário SENAC.

Emília Satoshi Miyamaru Seo⁽²⁾

Pesquisadora e docente do Centro Universitário SENAC.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Ramiz Galvão, 1052. CEP 02223-001, Jardim Brasil, São Paulo – São Paulo. Brasil – e-mail: diogorodriguesdias@gmail

RESUMO

O presente trabalho estuda a reutilização dos resíduos de madeiras como uma alternativa de energia renovável devido à grande disponibilidade deste material. O trabalho utiliza a técnica de prensagem para a preparação de briquetes visando o gerenciamento sustentável destes resíduos de madeira como uma forma de gerar energia em volumes compactos a partir de um recurso natural renovável, além de não possuir o caráter poluidor de fontes fósseis de energia. O procedimento experimental consistiu na classificação granulométrica de resíduos de madeira na forma de particulados (serragem), prensagem uniaxial, secagem e caracterização dos briquetes confeccionados. Os briquetes foram caracterizados por resistência a queda, resistência a compressão, quantidade de material orgânico volátil, poder calorífico e porcentagem em massa de hidrogênio, enxofre total e umidade. Obteve-se briquetes com resistência mecânica suficiente para o transporte, manuseio e alto poder calorífico como alternativa para geração de energia por meio da biomassa.

PALAVRAS-CHAVE: Briquetes, Resíduos de Madeira, Biomassa.

INTRODUÇÃO

Energias renováveis representam 41,3% do consumo total no Brasil, ao passo que no mundo são apenas 14,4%. O consumo médio de energia no Brasil é de 1,09 tep por habitante por dia. (GOLDEMBERG, LUCON, 2007). A energia limpa gerada a partir da biomassa é hoje uma grande alternativa econômica para o Brasil. E pode ser também sustentável quando a oferta do insumo se dá por meio do reaproveitamento dos resíduos, como a madeira (RECH, 2013).

A madeira disposta em locais inapropriados contraria a PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos). Além de que, no Brasil, ocorrem problemas ambientais relacionados à contaminação dos solos e lençóis freáticos, córregos, rios e mananciais devido ao acúmulo e descarte inadequado dos resíduos (PAULA, 2006).

As gerações de resíduos nas madeiras são encaradas como um problema, devido a ocupação de espaço e necessidade de destinação correta segundo a legislação vigente de resíduos sólidos (FONTES, 1994).

Uma das formas de minimizar o desperdício e a pressão sobre o ambiente se dá por meio do reaproveitamento destes resíduos de madeira (PAULA et. al., 2011).

Com vista no reaproveitamento e na geração de energia através da biomassa de acordo com Quirino (1991), o briquete foi a alternativa utilizada para viabilizar o processo.

Neste contexto, destaca-se o processamento de prensagem com uma das alternativas, que consiste em um processo de compactação de resíduos, promovendo sua valoração e homogeneização em termos de umidade, granulometria e densidade, com grande eficiência em concentrar a energia disponível na biomassa (QUIRINO, 1991).

De acordo com Cavalcanti et al (2010) a produção de briquetes por meio de um resíduo ligno-celulósico, tem qualidade superior a qualquer espécie de lenha, de duas a cinco vezes mais de densidade energética. No comércio internacional, o briquete pode valer até quatro vezes mais que o carvão vegetal.

A vantagem de utilizar a serragem de madeira na forma de briquetes consiste em um gerenciamento sustentável destes resíduos como uma forma de gerar energia em volumes compactos a partir de um recurso natural renovável, além de não possuir o caráter poluidor de fontes fósseis de energia (GONÇALVES, 2009).

Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo geral produzir e caracterizar briquetes de resíduos de madeira visando a utilização para geração de energia.

Inserem-se como objetivos específicos:

- Preparar a matéria prima, particulados de madeira (serragem) segundo as faixas granulométricas;
- Confeccionar os briquetes por prensagem uniaxial;
- Caracterizar os briquetes por meio dos ensaios de queda e de resistência a compressão, determinação de poder calorífico superior e inferior, quantidade de material orgânico volátil e porcentagem em massa de hidrogênio, enxofre total e umidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

Para desenvolvimento deste trabalho foi utilizado como matéria prima, o resíduo de madeira, denominado como serragem.

Para realizar a amostragem do resíduo foi utilizada a NBR 10007:2004, que define amostra representativa como, parcela do resíduo a ser estudada, obtida por meio de um processo de amostragem, e que, quando analisada, apresenta as mesmas características e propriedades da massa total do resíduo.

Segundo a NBR 10007:2004, é recomendado como tipo de recipiente sacos e similares, em que a retirada do material deve ser realizada pela parte superior, determinada como ponto de amostragem, na condição de evitar furos adicionais por onde o material possa sair. A figura 1 apresenta a amostra cedida pela madeira “Madeibras” e o tipo de recipiente.



Fonte: Autor.

Figura 1: Amostra representativa gerada pela madeira “Madeibras” e tipo de recipiente.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para classificação das diferentes granulometrias de resíduos da madeira foram utilizadas as peneiras da série Tyler 14, 28, 35, 48 e 100 Mesh. O ensaio da classificação granulométrica foi executado com o auxílio de um agitador mecânico da Solotest em intervalos de 3 a 5 minutos de acordo com a figura 2.

As amostras classificadas foram submetidas à etapa de mistura com o aglutinante, amido de milho em com concentração de 25% em massa em relação a quantidade de massa de serragem de madeira. O amido de milho foi solubilizado em 50 mL de água à temperatura de 200°C em uma chapa aquecedora. Na sequência a solução de amido foi adicionada a serragem de madeira sob agitação. De acordo com Fontes, Quirino e Pastore (2015) o aglutinante é fundamental para o processo de briquetagem e segundo estes autores o amido comumente utilizado.

A mistura de amido de milho e serragem foi levada à etapa de processamento por prensagem uniaxial utilizando uma prensa hidráulica de marca “Marcon” (figura 3). Para a prensagem uniaxial foi utilizada a pressão de 7 a 10 kgf.cm⁻².

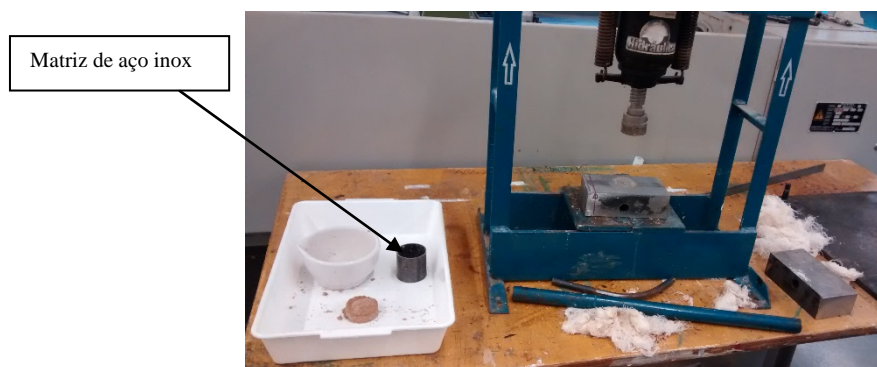
A matriz de aço inox de dimensões 50 mm de diâmetro por 5 cm de altura utilizada na prensagem foi confeccionado no laboratório de Design Industrial. Foram preparados cerca de 50 briquetes de 50 mm de diâmetro por 0,5 cm de altura, sendo 10 briquetes de cada granulometria. Os briquetes foram submetidos à etapa de secagem em uma estufa a 105°C por um período de 24 horas.

Em seguida, os briquetes foram submetidos aos ensaios de caracterização.



Fonte: Autor

Figura 2: Análise granulométrica com as peneiras da série Tyler.



Fonte: Autor

Figura 3: Prensa hidráulica utilizada na etapa de processamento

CARACTERIZAÇÃO DOS BRIQUETES

DETERMINAÇÃO QUANTIDADE DE MATERIAL VOLÁTIL

Realizou-se a tara do cadinho de porcelana e pesou-se a massa inicial de serragem de madeira (m1) para cada faixa granulométrica, sendo: 14, 28, 35, 48 e 100 Mesh. Os cadinhos foram levados a uma mufla a temperatura de 500 °C no período de quatro horas para liberação dos voláteis. Esta condição foi adotada, pois a madeira é

estável a 100°C exceto pela eliminação da umidade. Entre 100 e 250°C a madeira escurece e perde sua resistência embora mantenha seu aspecto físico. A altas temperaturas (500°C) ocorre a carbonização e desprendem-se mais substâncias voláteis (KLOCK, 2005).

Pesou-se a massa final (m2) após a etapa de calcinação das amostras e calculou-se a porcentagem de material orgânico volátil, de acordo com a seguinte equação:

$$\%MOV = \frac{m1 - m2}{m1} \times 100 \quad (1)$$

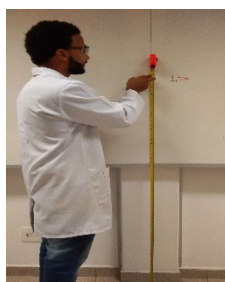
DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR E INFERIOR; UMIDADE, HIDROGÊNIO E ENXOFRE TOTAL

Para determinação do Poder Calorífico Superior e Poder Calorífico Inferior e bem como a análise da porcentagem de umidade, hidrogênio e enxofre total, as amostras foram enviadas para o laboratório do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e o procedimento de ensaios foi de acordo com as normas ASTM D5865-13 – Determinação do poder calorífico superior e inferior, ASTM D5375-14- Determinação do teor de hidrogênio, ASTM D4239-14 e 1 – Determinação do teor de enxofre total e ASTM E871-82(13) – Determinação do teor de umidade.

ENSAIO DE RESISTÊNCIA A QUEDA

O ensaio de resistência a queda tem a finalidade de verificar a fragilidade do briquete visando verificar antes do ensaio a compressão, se o briquete apresenta resistência suficiente para manuseio e transporte de um lugar para outro.

O ensaio foi realizado com a padronização da altura em um metro e meio (figura 4). Após a padronização da altura, os briquetes foram liberados de cima para baixo e observou-se se houve a desintegração do briquete. O resultado observacional foi anotado como briquete com: Desintegração total (totalmente fraturada), Desintegração parcial (com pelo menos 30% desintegrada ou fraturada) e Sem desintegração (100% intacta) (figura 5).



Fonte: Autor

Figura 4: Padronização da altura em um metro e meio



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autor

Figura 5: Desintegração total da amostra (a), desintegração parcial (b) e sem desintegração (c)

ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

A resistência à compressão determina a capacidade de resistência ou de empilhamento durante a estocagem. O ensaio de resistência à compressão foi realizado em máquina universal de ensaios, marca Instron do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) (figura 6), utilizando prato para compressão de 500 kg, com velocidade de 5 mm/min, de modo a obter a força máxima de suporte pelo briquete até a sua quebra.



Fonte: Autor

Figura 6: Máquina universal de ensaios para os testes de resistência a compressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

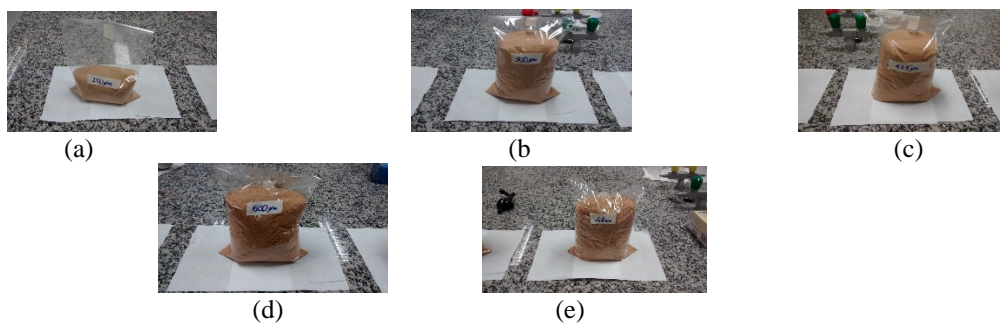
Os resultados da classificação granulométrica estão apresentados na figura 7 a, b, c, d e e. Conforme as peneiras da série Tyler 14, 28, 35, 48 e 100 Mesh, as aberturas correspondentes padrão ISO e em mm) são 1,18 mm/1,18mm, 600 μ m/0,600mm, 425 μ m/0,425mm, 300 μ m/0,300mm e 150 μ m/0,150mm.

Os briquetes obtidos após a prensagem sem secagem estão apresentados na figura 8 a e b.

A tabela 1 apresenta os resultados experimentais da determinação da quantidade de material volátil e seus respectivos em valores percentuais de material orgânico volátil (%MOV). Conforme os resultados obtidos, verificou-se que a granulometria da serragem de madeira não influencia na porcentagem de material orgânico volatilizado, obtendo-se a perda acima de 77% em massa de MOV.

Os materiais voláteis são vapor d'água, enxofre, monóxido de carbono e dióxido de carbono volatilizado na etapa de calcinação na presença de ar.

De acordo com Klock (2005), a porção inorgânica da madeira é analisada como cinza por incineração do material orgânico. Os principais componentes das cinzas da madeira são K, Ca e Mg, e são obtidos na incineração na forma de óxidos.



Fonte: Autor

Figura 7: Partículas de serragem de madeira que ultrapassaram as aberturas de 150 μ m (a), 300 μ m(b) 425 μ m (c), 600 μ m (d) e 1,18mm (e)



(a)



(b)

Fonte: Autor

Figura 8: Vista lateral do briquete (a) e vista frontal do briquete (b)

Tabela 1: Porcentagem de material orgânico volátil de cada granulometria.

Abertura das malhas (ISO)	Massa Inicial		Massa Final	Quantidade volatilizada (g)	% MOV
	$m_1(g)$	$M_{\text{cadinho} + m_1}(g)$	$m_2(g)$		
150 μm	15	75,05	75,28	0,23	77
300 μm	15	76,81	76,87	0,06	94
425 μm	15	84,33	84,34	0,01	99
600 μm	15	79,29	79,3	0,01	99
1,18 mm	15	71,95	72,13	0,18	82

Fonte: Autor

A tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de poder calorífico superior (PCS), inferior (PCI) e a porcentagem em massa de hidrogênio, enxofre total e umidade.

Tabela 2 – Resultados do poder calorífico superior e inferior, e das porcentagens em massa de hidrogênio, enxofre total e umidade.

Poder Calorífico Superior	
MJ/kg	kcal/kg
19,86	4742,56

Poder Calorífico Inferior	
MJ/kg	kcal/kg
18,52	4422,57

% em massa	
Hidrogênio	6,22
Enxofre total	< 0,1
Umidade	14,6

Fonte: Autor

O resultado da porcentagem de umidade presente na serragem de madeira utilizada no presente trabalho está de acordo com Filho (2015), pois para este autor o teor de umidade não deve ultrapassar a 20 % em massa pois poderiam reduzir o valor do calor de combustão. O valor encontrado está dentro da faixa mencionada pelo Moura (2012).

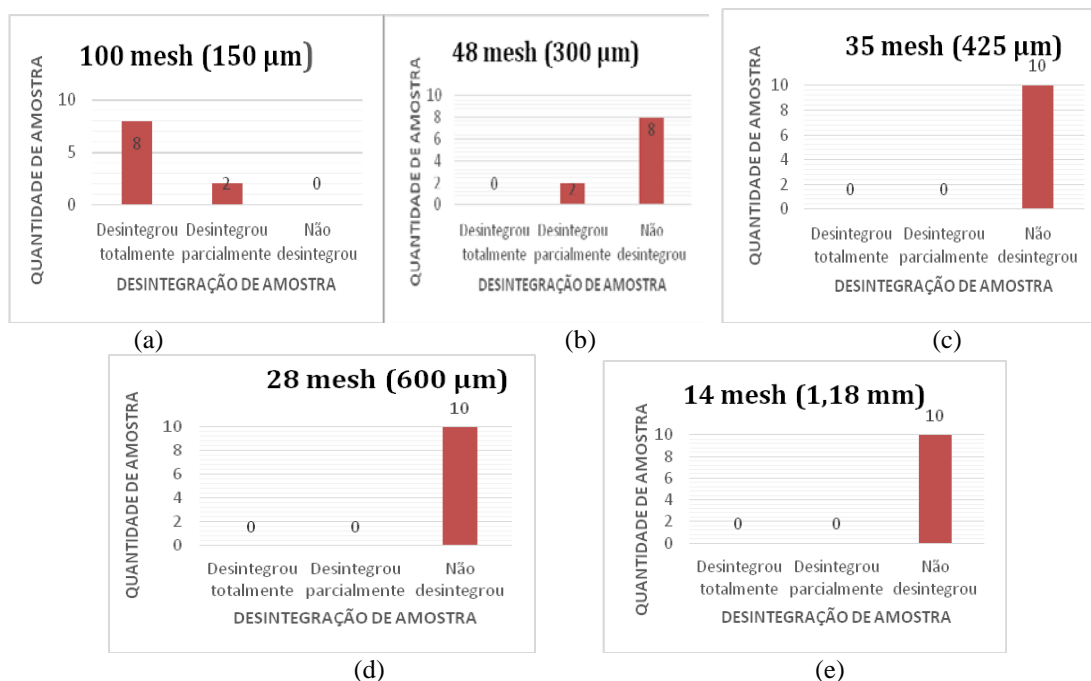
O teor de enxofre presente nesta matéria prima é baixo, portanto não comprometendo a combustão do enxofre, consequentemente, pouca geração de dióxido de enxofre, que pode combinar com a água e formar ácido sulfúrico diluído.

Os valores de PCS e PCI encontrados para a matéria prima utilizada neste trabalho mostram que o material é bastante apropriado para combustão visando a geração de energia. Os valores encontrados estão dentro da faixa de valores médios entre 4685 e 4736 kcal/kg encontrados em 258 espécimes florestais, segundo os autores Quirino et al (2004). A serragem de madeira possui alto poder calorífico, quando comparados com outros combustíveis sólidos, como a casca de arroz “in-natura” e o bagaço de cana “in natura” que possuem respectivamente um PCI de 3300 e 1820 kcal/kg (ADETEC, 2015).

Os resultados dos ensaios de resistência de queda estão apresentados no gráfico 1. Os gráficos mostram que os briquetes secos com partículas de serragem a 100 Mesh são mais frágeis. Nenhum dos briquetes se fragmentaram constituídos com partículas de 35, 28 e 14 Mesh.

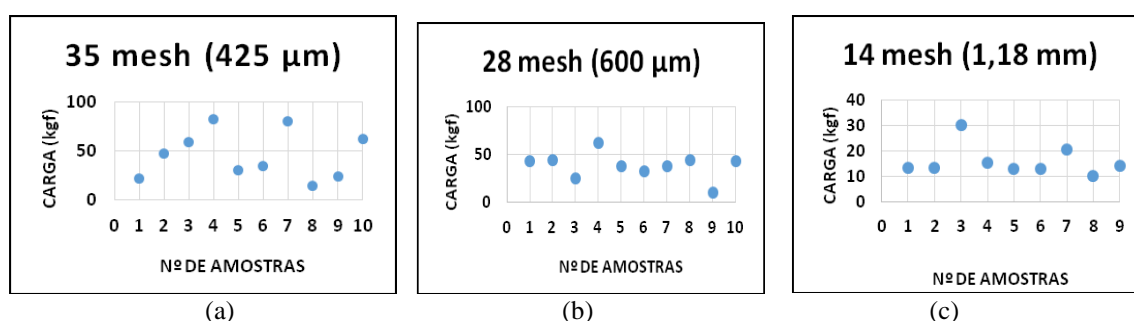
Os briquetes mais resistentes ao ensaio de resistência de queda foram submetidos aos ensaios de resistência a compressão.

Os resultados do ensaio de resistência a compressão estão apresentados no gráfico 2. Os resultados mostram que os briquetes suportam a uma força superior a 10 kgf utilizando um prato de 500 kg. Tais resultados mostram que os briquetes com tais granulometrias suportam durante o armazenamento e quanto para o transporte dos mesmos.



Fonte: Autor

Gráfico 1: Ensaio de resistência a queda das granulometrias de 100 mesh (a), 48 mesh (b), 35 mesh (c), 28 mesh (d) e 14 mesh (e).



Fonte: Autor

Gráfico 2: Ensaio de resistência a compressão dos briquetes granulometrias de 35 (a), 28 (b) e 14 Mesh (c).

CONCLUSÃO

As principais conclusões podem ser estabelecidas:

A granulometria da serragem de madeira não influencia na porcentagem de material orgânico volatilizado, obtendo-se a perda acima de 77% em massa de MOV;

A porcentagem de umidade presente na serragem de madeira utilizada no presente trabalho está de acordo com a literatura técnica com o teor de umidade abaixo de 20 % em massa;

A porcentagem em massa de enxofre total é baixa minimizando a formação de compostos prejudiciais;

Os resíduos de madeira possuem alto poder calorífico, quando comparados com outros combustíveis sólidos, como a casca de arroz “in-natura” e o bagaço de cana “in natura” que possuem respectivamente um PCI de 3.300 e 1820 kcal/kg e os valores de PCS e PCI estão dentro dos valores encontrados na literatura técnica;

Briquetes de serragem de madeira com granulometria, 35, 28 e 14 Mesh possuem resistência a queda e a compressão suficientes para manuseio, transporte e a utilização dos mesmos;

A briquetagem é processamento adequado para obtenção de briquetes com características adequadas para geração de energia por meio da biomassa e solução para reaproveitamento de resíduos das madeiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10.007/2004. Amostragem de Resíduos Sólidos**. São Paulo, 2004.
2. CAVALCANTE, M. A., et al., Briquetes de resíduos agroflorestais da Amazônia. **Revista da Madeira**. No. 125, novembro/2010.
3. FONTES, P. J. P. **Auto-suficiência energética em serraria de Pinus e aproveitamento dos resíduos**. Curitiba, 1994. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.
4. GOLDEMBERG, J., LUCON, O. **Energia e Meio ambiente no Brasil** – Estudos Avançados. São Paulo, SP, 2007.
5. GONÇALVES, J. E., SARTORI, M. M., LEÃO, A. L. Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.5, p657, 2009.
6. KLOCK U. et al. **Química da Madeira**. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Departamento de Engenharias e Tecnologia Florestal Curitiba, 2005.
7. PAULA, L. E. R., et al. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v.31, n.66, p. 103-112. abr/jun 2011.
8. PAULA, J. C. M. **Aproveitamento de resíduos de madeira para confecção de briquetes**. 2006. 37f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.
9. QUIRINO, W. F., BRITO, J. O. Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal. **IBAMA – Laboratório de Produtos Florestais**. Brasília, série técnica n.13, 1991.
10. QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**. n.89, abril/2005. Disponível em: < <http://funtec.org.br/arquivos/podercalorifico.pdf>>. Acesso em: 13 março 2015.
11. RECH, C. Biomassa. **Revista da Madeira**, Ano 24 –Nº 137. São Paulo, SP. 2013.
12. SANT’ANNA, M. C. S. et al. Caracterização de briquetes obtidos com resíduos de agroindustriais. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v.14 n.3, p. 289-294, 2012. Disponível em: < <http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev143/Art14312.pdf>>. Acesso em 5 de fev. 2015.
13. STANDARD TEST METHOD - ASTM D5865-13. **Determinação do poder calorífico superior e inferior**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 2015.



14. STANDARD TEST METHOD - ASTM D5375-14. **Determinação do teor de hidrogênio.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 2015.
15. STANDARD TEST METHOD - ASTM D4239-14 e 1. **Determinação do teor de enxofre total.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 2015.
16. STANDARD TEST METHOD - ASTM E871-82(13). **Determinação do teor de umidade.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 2015