

# REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

## **BRIQUETES PRODUZIDOS A PARTIR DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS PROVENIENTES DO ATERRO DE RESÍDUOS INERTES DA CIDADE DE SOROCABA<sup>1</sup>**

GABRIELA TAMI NAKASHIMA<sup>2</sup>, WILLIAM HIDEYUKI AKIYAMA<sup>2</sup>, LUIS RICARDO OLIVEIRA SANTOS<sup>2</sup>, ELIAS RICARDO DURANGO PADILLA<sup>2</sup>, GABRIELA BERTONI BELINI<sup>2</sup>, LUCIANO DONIZETI VARANDA<sup>2</sup>, FRANCIANE ANDRADE DE PÁDUA<sup>2</sup>,  
FÁBIO MINORU YAMAJI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Apresentado no Congresso de Energias Renováveis da UFSCar: 23 a 26 de maio de 2017 – Sorocaba-SP, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal de São Carlos, campus de Sorocaba, Departamento de Ciências Ambientais, Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Sorocaba-SP, Brasil.

E-mail: gabi.tami@gmail.com

### **RESUMO**

A busca por alternativas para o reaproveitamento de resíduos é uma forma de minimizar os problemas relacionados aos aterros municipais. O presente artigo analisou a viabilidade da produção de briquetes a partir dos resíduos provenientes do aterro de resíduos inertes da cidade de Sorocaba, com o intuito de reduzir o descarte desse material, convertendo-o assim em um produto de maior valor agregado. Os resíduos foram caracterizados quanto à densidade a granel e análise imediata, sendo então compactados com o auxílio de uma prensa hidráulica, sem o uso de temperatura nem aglutinante, os briquetes obtidos foram avaliados quanto à sua estabilidade dimensional, resistência mecânica e durabilidade. Observou-se que o processo de compactação acarretou em briquetes de alta densidade aparente (1077,70

kg/m<sup>3</sup>) e resistência mecânica (69,75 kgf), confirmando, assim, a viabilidade do uso destes resíduos como biocombustíveis sólidos, desde que seja realizada uma secagem prévia desse material para a sua compactação.

**Palavras-chave:** Biomassa, Bioenergia, Biocombustíveis, Podas urbanas.

## **BRIQUETTES PRODUCED FROM THE USE OF WASTE FROM THE LANDFILL OF INERT WASTE FROM THE CITY OF SOROCABA**

### **ABSTRACT**

The search for alternatives for the reuse of waste is one way to minimize the problems related to municipal landfills. This article analyzed the feasibility of producing briquettes from waste from the landfill inert waste of Sorocaba city, in order to reduce the disposal of this material, thus converting it into a product with higher added value. The residues were characterized by their bulk density and proximate analysis. The compaction was done with the aid of a hydraulic press without the use of temperature or binder. The briquettes obtained were evaluated in dimensional stability, mechanical strength and durability. It was found that the compression process resulted in briquettes with high bulk density (1077.70 kg / m<sup>3</sup>) and mechanical strength (69.75 kgf). There is a feasibility of using these residues as solid biofuels, since drying the material prior to compaction.

**Keywords:** Biomass, Bioenergy, Biofuel, Pruning urban.

### **INTRODUÇÃO**

Em Sorocaba, a preocupação com o meio ambiente vem ganhando destaque em ações como a construção do Aterro de Resíduos Inertes. Aproximadamente 750 toneladas/dia de resíduos são dispostas no local, dos quais se estima que 25% são reaproveitados e o restante considera-se como rejeitos. Isso representa um volume aproximado de 1300 m<sup>3</sup> de resíduo por dia que são conduzidos ao aterro onde é realizada uma triagem, separando-se galhos, ferros, madeira e diversos outros tipos de resíduos que chegam juntamente com os resíduos da construção. Após a triagem, cerca de 300 m<sup>3</sup> de resíduos são enviados para as máquinas trituradoras. Desse total, aproximadamente 100 m<sup>3</sup> são constituídos de galhos e folhas de

podas de árvores. Este material não tem aproveitamento, ou seja, é triturado e disposto no próprio aterro (SANTANA, 2011).

Uma alternativa para agregar valor e reduzir os impactos ambientais causados pelos resíduos é a sua utilização como fonte energética. Algumas vantagens alcançadas com a sua utilização energética podem ser a substituição de combustíveis não renováveis, geração de renda, diminuição das áreas ocupadas pelos resíduos em aterros e, conseqüentemente, redução de custos para este aterro (QUIRINO, 2003).

O reaproveitamento deste resíduo pode se realizar pela moldagem de briquetes. Essa alternativa diminui a disposição deste resíduo, que acaba ocupando grandes áreas durante o seu armazenamento e que, sem um destino final apropriado, gera desperdício de uma possível fonte de renda para o aterro, além de diminuir sua vida útil devido ao aterramento constante no local (CORTEZ, 1997).

Algumas vantagens da briquetagem são: diminuição no volume físico do material devido à compactação, alto valor de capacidade calorífica por volume, facilidades de transporte, de manuseio, de estocagem e redução de área para estocagem. Segundo Quirino (1991), na produção de briquetes o material pode chegar a uma redução de volume em torno de 5 a 7 vezes.

Com todas as suas características e propriedades, o briquete produzido a partir de biomassa vegetal certamente é uma fonte de energia, que pode ser obtida com pouca tecnologia e investimentos geralmente baixos (NAKASHIMA, 2017; QUIRINO et al. 2005, YAMAJI et al., 2013).

Este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade de produção de briquetes utilizando resíduos de poda urbana provenientes do Aterro de Resíduos Inertes de Sorocaba, gerando um produto de maior valor agregado, contribuindo com a vida útil do aterro e com o meio ambiente.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O material utilizado foi o resíduo de poda urbana, coletado no Aterro de Resíduos Inertes de Sorocaba. A coleta do material utilizado para a produção de briquetes foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 10007:2004, referente a amostragem composta. Assim, adotou-se um procedimento de coleta de várias amostras parciais, em diferentes pontos do

lote dos resíduos triturados. Cada amostra coletada foi de aproximadamente 1 kg e acondicionada em saco plástico.

### **Teor de umidade do resíduo in natura**

Inicialmente foi colocado uma pequena quantidade do material recolhido no aterro em uma estufa da marca Marconi, modelo MA035, a temperatura constante de  $105 \pm 2$  °C por aproximadamente 120 horas. A cada 24 horas a amostra foi pesada até atingir massa constante. Após cerca de 120 horas a massa do resíduo se estabilizou e assim foi determinado a massa da amostra seca para o cálculo da umidade do material.

### **Densidade média do resíduo bruto**

Para determinação da densidade foi utilizada uma adaptação da norma ABNT NBR 6922:1981. O material seco foi colocado em um béquer até ocupar um volume conhecido e pesado em uma balança analítica da marca Shimadzu, modelo BL3200H, para calcular a densidade do material. Foram realizadas três medições com o intuito de calcular a média.

### **Granulometria e classificação das partículas**

Este procedimento foi realizado de acordo com especificações da norma ABNT NBR 7217:1987 com o objetivo de identificar a granulometria do material coletado no aterro. Inicialmente foram pesados 100 gramas do material seco. Em seguida, o resíduo passou por um classificador granulométrico da marca Marconi, modelo MA750, com peneiras de aberturas distintas (5, 20, 60 e 100 *mesh*).

### **Análise imediata**

A análise imediata do resíduo coletado se refere a determinação do teor de materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo, e foram realizadas com base na norma ABNT NBR 8112:1986, que se refere a análise imediata de carvão vegetal. Os ensaios de teor de materiais voláteis foram realizados em um forno (mufla) da marca Bravac, modelo M2, a uma temperatura de 900 °C. Os ensaios do teor de cinzas foram realizados no mesmo forno mufla,

onde os cadinhos foram inseridos e submetidos a uma temperatura de 600 °C. Para a determinação do teor de carbono fixo foi utilizada uma equação obtida da literatura, onde os dados necessários para o cálculo são retirados dos testes anteriormente realizados. (massa seca, teor de materiais voláteis e teor de cinzas).

### **Briquetagem**

Após a classificação do resíduo em diferentes granulometrias, os briquetes foram moldados através de prensagem hidráulica sem uso de temperatura nem adição de aglutinante. Inicialmente, o teor de umidade foi ajustado para 10,28%. Em seguida, aproximadamente 20 gramas do material foram colocados em um molde cilíndrico por meio de um funil. O molde foi prensado em um prensa hidráulica da marca Marconi, modelo MPH-15. O processo de prensagem foi realizado manualmente, com adição de pressão ao pistão por meio de uma alavanca responsável por acionar a prensa. Uma força de 12 toneladas foi aplicada por 30 segundos. Após a moldagem, todos os corpos de prova foram pesados e suas dimensões (altura e diâmetro) foram mensuradas por meio de um paquímetro digital. Foram moldados um total de 26 amostras, onde 10 amostras foram utilizadas para o teste de resistência mecânica e 12 amostras utilizadas para o teste de expansão. Nesta etapa também foi calculada a densidade dos briquetes moldados.

### **Teste de expansão**

O teste de expansão dimensional consiste em determinar a variação diametral e no comprimento ocorrido nos briquetes após sua moldagem. Este tipo de ensaio é importante para averiguar se o briquete absorve muita umidade do ambiente em que está inserido, ocasionando variações em parâmetros como poder calorífico, peso e dimensões.

O ensaio foi conduzido na câmara climática da marca CienLab. A simulação foi feita em um ambiente com temperatura de 30°C e umidade relativa (UR) de 75%. As dimensões e massas dos corpos de prova foram acompanhados a cada 30 minutos nas duas primeiras horas. Depois o intervalo foi de uma hora. Após quatro horas, as medições foram a cada 24h. Este processo foi necessário, pois nas primeiras horas em que o briquete fica em contato com a umidade a taxa de expansão aumenta rapidamente. O processo descrito foi realizado até o momento em que as dimensões permaneceram constantes.

### **Tração por compressão diametral**

Para este ensaio, foi utilizada uma adaptação da norma ABNT NBR 7222:2011, referente a testes mecânicos em concreto. Os ensaios de tração por compressão diametral foram realizados utilizando uma máquina de ensaio universal da marca EMIC com capacidade de 300 KN. Foram realizados dez ensaios no total, todos totalmente automatizados.

### **Tamboramento**

O teste de tamboramento é responsável por determinar a taxa de friabilidade do briquete. Essa taxa corresponde ao grau de esfarelamento do briquete quando este for sujeito a ação do atrito, de choques mecânicos e possíveis acidentes estruturais. Este experimento foi realizado através de uma adaptação da norma ABNT NBR 8740:1985. Para a realização deste teste duas amostras diferentes foram utilizadas. A primeira amostra corresponde aos briquetes logo após sua moldagem e, a segunda, corresponde aos briquetes que sofreram a ação da umidade na câmara climática após 407 horas.

## **RESULTADOS**

### **Teor de umidade e densidade do resíduo bruto**

O teor de umidade para o material analisado foi igual a 74,2%. Para determinar a densidade do resíduo bruto foram realizadas inicialmente três pesagens. Todas as pesagens foram feitas com o material inserido em um béquer de 2 litros de volume. As massas encontradas foram: 196,44; 204,36 e 201,97 g (teor de umidade 4%). O valor médio da densidade a granel foi 100,17 kg/m<sup>3</sup>.

### **Granulometria e classificação das partículas**

Foi utilizado o cálculo do diâmetro médio de Sauter, onde o valor do diâmetro médio das partículas foi igual a 0,4 mm. Este procedimento é importante para avaliar qual a faixa

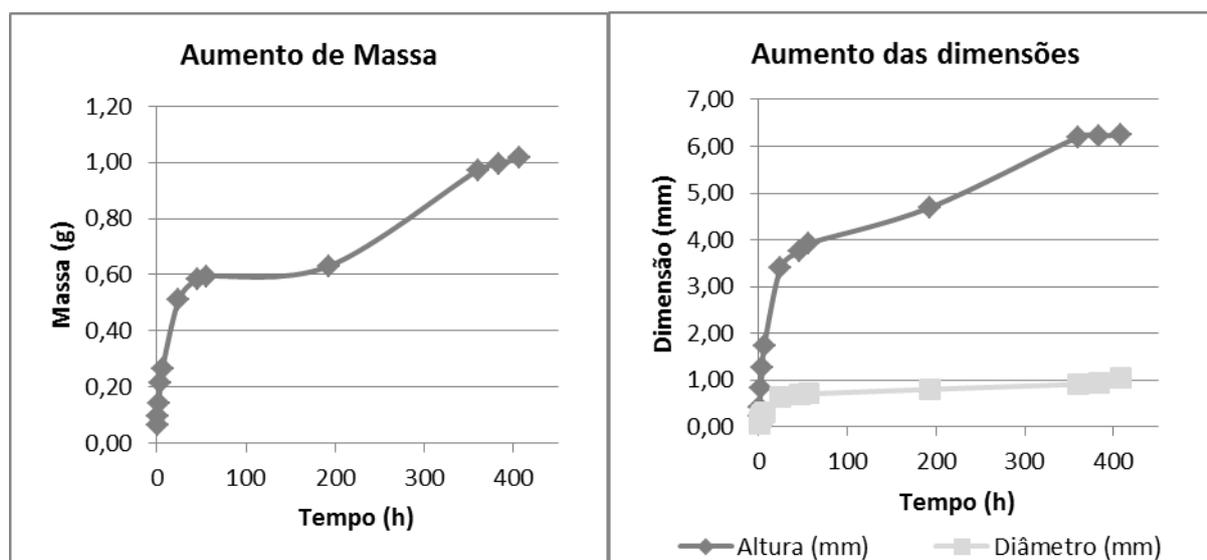
granulométrica mais indicada na moldagem dos briquetes, pois o tamanho das partículas influencia diretamente em alguns parâmetros como: resistência mecânica e necessidade de utilização de aglutinantes (FONTES; QUIRINO; OKINO, 1989).

### Análise imediata

O valor médio do teor de materiais voláteis encontrado foi igual a 88,68%. O valor do teor de cinzas encontrado foi de 5,3%, e o valor médio do teor de carbono fixo encontrado foi de 6,02%.

### Teste de expansão dimensional

A Figura 1 apresenta os resultados da média da expansão dimensional e aumento de massa de 12 amostras por aproximadamente 407,5 horas.



**Figura 1:** Curva de aumento de massa e curva de aumento das dimensões.

## DISCUSSÃO

### Teor de umidade do resíduo bruto

O resíduo analisado apresentou um alto teor de umidade (74,2%) evidenciando a necessidade de secagem e ajuste de umidade antes da moldagem dos briquetes. Altos teores de umidade não são desejáveis, pois o custo de secagem em escala industrial é muito elevado. Outro custo que vale a pena destacar é o de transporte e estocagem. Com esse nível de umidade, o custo de transporte será muito maior do que o custo de transporte do material seco. Logo, quanto a umidade, o resíduo analisado não apresenta boas características para a fabricação de briquetes, sendo necessário analisar a viabilidade de alternativas que busquem a redução da umidade.

### **Densidade do resíduo bruto**

O valor encontrado foi utilizado para comparar a densidade do briquete produzido com a densidade do material coletado no aterro, mostrando o grau de compactação das partículas após a moldagem. Quanto maior esta compactação, maior a quantidade de resíduo presente no briquete em um menor volume, aumentando o seu tempo de combustão por exemplo. Uma outra vantagem dessa compactação refere-se a armazenagem e o transporte. Quanto maior a densidade do material, uma maior quantidade de briquetes poderão ser transportados, diminuindo a quantidade de viagens se comparadas ao transporte do resíduo bruto e, conseqüentemente, diminuindo os custos de transporte. Em relação a armazenagem uma maior quantidade poderá ser estocada se comparada também a armazenagem do resíduo bruto.

### **Granulometria e classificação das partículas**

O valor encontrado do diâmetro médio foi de aproximadamente 0,4 mm, evidenciando a necessidade do processo de trituração para posterior moldagem dos briquetes em escala laboratorial com este material.

### **Teor de materiais voláteis**

Em comparação com o estudo realizado por Cortez e Lora (1997), o resíduo de poda apresenta um teor de compostos voláteis maior. Tal característica também garante ao resíduo um poder calorífico maior em relação aos outros resíduos pelo fato de haver mais hidrogênio

no material (OLIVEIRA, 1982) e, dependendo de sua utilização, pode gerar vantagem qualitativa sobre as mesmas.

### **Teor de cinzas**

Um baixo teor de cinzas garante maior resistência ao briquete além de um poder calorífico mais elevado, dando origem a briquetes de melhor qualidade (QUIRINO, 1991). Porém, dependendo do seu uso, 5,3% de teor de cinzas pode ser considerado extremamente alto. De acordo com as normas europeias para *pellets*, o teor de cinzas máximo aceitável deve ser menor do que 1%. O valor encontrado pode ser explicado pela grande quantidade de resíduos que devem ser misturados ao material no processo de corte, armazenamento e transporte da poda, como por exemplo, contaminação por terra. Por ser um material inerte, a sílica contida na terra aumenta o teor de cinzas do material.

### **Carbono fixo**

O teor de carbono fixo do resíduo analisado apresentou o menor valor em comparação com as outras biomassas analisadas por Cortez e Lora (1997). Isso significa que dentre as biomassas estudadas o resíduo de poda apresenta a queima mais rápida por apresentar menos carbono em sua composição. Tal característica pode prejudicar a qualidade final do briquete dependendo de sua utilização, como exemplo, na queima de caldeiras industriais onde o tempo de combustão é extremamente importante.

### **Briquetagem**

Os briquetes moldados apresentaram características físicas bastante satisfatórias. Seu grau de esfarelamento após algum tempo em repouso foi baixo, evidenciando uma boa aderência das partículas e seus tamanhos e massas tiveram pouca variação, mostrando que o material utilizado possui boas qualidades físico/químicas para a moldagem de briquetes. Para evidenciar o grau de compactação das partículas a densidade de todas as amostras foram calculadas e apresentaram um valor médio igual a 1077,70 kg/m<sup>3</sup>. Isso mostra que houve um aumento de mais de dez vezes em relação a densidade do material bruto (100,17 kg/m<sup>3</sup>),

proporcionando aos briquetes vantagens em relação a este material, como por exemplo, um armazenamento e transporte mais eficiente.

### **Teste de expansão dimensional**

A Figura 1 mostra o aumento da massa em torno de 5,1% (1,01 g) em relação a massa inicial. O aumento pode ser considerado significativo se for levado em conta uma grande quantidade de briquetes, influenciando em custos de transporte, por exemplo. A umidade do briquete inserido na câmara climática entra em equilíbrio com o ambiente conforme o tempo como mostra a Figura 1. Essa elevação da massa dos briquetes é justificada pelo ganho de umidade (água) ocasionado pelo ambiente, aumentando as suas respectivas massas.

Em relação a expansão diametral, pode-se observar que foi pouco significativa, como mostra a Figura 1. O aumento percentual foi de 2,82% que corresponde a um aumento de 1,04 mm em seu diâmetro. Já a variação na altura foi bastante significativa, promovendo um aumento de aproximadamente 24,14% ou 6,24 mm em relação ao seu tamanho inicial. Tal variação deve-se principalmente a condição extrema em que o material foi inserido, proporcionando grande absorção de umidade. Em comparação ao trabalho realizado por Yamaji et al. (2013), pode-se notar que o briquete moldado por podas urbanas apresentou uma variação percentual dimensional menor que alguns outros tipos de resíduos como o capim elefante (aumento de massa = 3,88%, expansão diametral = 10,11% e variação da altura = 106%) e bagaço de cana (aumento de massa = 1,5%, expansão diametral = 2,10% e variação da altura = 64,79%), mostrando ser um resíduo interessante na moldagem de briquetes.

### **Tração por compressão diametral**

A média da tração por compressão máxima suportada foi de 0,6216 MPa e a força média máxima suportada pelo briquete foi de 69,75 kgf.

### **Tamboramento**

De acordo com Pereira (2009) a taxa de friabilidade pode ser classificada de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 1:** Classificação dos finos gerados pelo teste de tamboramento.

Classificação	Taxa de perda (%)
Muito friável	$\geq 30$
Bastante friável	25 - 29
Friabilidade média	15 - 24
Pouco friável	10 - 15
Muito pouco friável	$< 10$

Fonte: Pereira (2009).

Para a primeira amostra (briquetes logo após sua produção), a taxa de friabilidade foi igual a 13,20 %, indicando ser um produto pouco friável. Já para o segundo tipo de amostra (briquetes após os ensaios na câmara climática), a taxa de friabilidade foi igual a 64,11 %, indicando ser um produto muito friável de acordo com a classificação proposta por Pereira (2009). A partir destes resultados pode-se perceber a influência da umidade em relação a estrutura dos briquetes, evidenciando a importância do armazenamento adequado na qualidade do produto.

## CONCLUSÃO

Foi possível realizar a moldagem de briquetes a partir de resíduos provenientes de podas urbanas coletadas do Aterro de Resíduos Inertes da cidade de Sorocaba. Com os resultados obtidos neste trabalho, surge uma alternativa de transformação de um resíduo que atualmente é apenas descartado em um produto que poderá ter maior valor agregado.

A qualidade dos briquetes moldados em escala laboratorial neste trabalho mostrou-se satisfatória se comparados a outros briquetes produzidos com biomassas como bagaço de cana, palha de arroz, eucalipto, etc. O principal problema encontrado foi o alto teor de umidade (74,2%) do resíduo no seu local de origem, podendo inviabilizar uma produção em larga escala, devido a necessidade de um processo de secagem antes da moldagem dos briquetes.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**. Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8740**. Carvão vegetal – Determinação do índice de quebra e abrasão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007**. Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**. Carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6922**. Carvão vegetal – determinação da massa específica (densidade a granel). Rio de Janeiro, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217**. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**. Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; **Tecnologias de Conversão Energética da Biomassa**. EDUA/FEI: Manaus, Série Sistemas Energéticos vol 2, 1997.

FONTES, P. J.; QUIRINO, W. F.; OKINO, E. Y. **Aspectos técnicos da briquetagem de carvão vegetal no Brasil**. Brasília, DF: Laboratório de Produtos Florestais, Departamento de Pesquisas, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. 1989.

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

NAKASHIMA, G. T.; ADHMANN, I. C. S.; HANSTED, A. L. S.; BELINI, G. B.; WALDMAN, W. R.; YAMAJI, F. M. Materiais Lignocelulósicos: Caracterização e Produção de Briquetes **Revista Virtual de Química**. v. 9, n. 1, p. 150-162, 2017.

OLIVEIRA, J.B. **Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal**. Belo Horizonte, MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1982.

PEREIRA, F. A. **Efeito da granulometria e de aglutinantes nas propriedades de briquetes de finos de carvão vegetal**. 2009. 50f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

QUIRINO, W. F. **Briquetagem de resíduos lignocelulósicos**. Brasília: LPF, 1991. (Circular Técnica, 20).

QUIRINO, W.F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília:LPF/IBAMA, 2003. 14p.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S.; Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, nº 89. Brasília, 2005.

SANTANA, C. **Cidade produz 750 toneladas de entulho por dia**. Jornal Cruzeiro do Sul, Sorocaba, 26 de Junho de 2011. Disponível em: <<http://portal.cruzeirodosul.inf.br/acessarmateria.jsf?id=309511>>. Acesso em: 16 Abr 2014.

YAMAJI, F. M. et al. “**The use of forest residues for pellets and briquettes production in Brazil**”. 2010. Anais do Third International Symposium on Energy from Biomass and Waste, Veneza. Editora: Eurowaste, 2010.

YAMAJI, F. M.; VENDRASCO, L.; CHRISOSTOMO, W.; FLORES, W. P.; Análise do comportamento higroscópico de briquetes. **Revista Energia na Agricultura**, vol 18. Botucatu, 2013.