

FLÁVIA ALVES PEREIRA

**EFEITO DA GRANULOMETRIA E DE AGLUTINANTES NAS
PROPRIEDADES DE BRIQUETES DE FINOS DE CARVÃO VEGETAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2009

FLÁVIA ALVES PEREIRA

**EFEITO DA GRANULOMETRIA E DE AGLUTINANTES NAS
PROPRIEDADES DE BRIQUETES DE FINOS DE CARVÃO VEGETAL**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Ciência Florestal,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

APROVADA: 31 de julho de 2009.

Prof.^a Angélica de Cássia O. Carneiro
(Co-orientador)

Prof. Ricardo Marius Della Lucia
(Co-orientador)

Prof^a Ana Márcia M. Ladeira Carvalho

Dr. Daniel Camara Barcellos

Prof. Benedito Rocha Vital
(Orientador)

“Cada pessoa tem dentro de si uma águia. Ela quer nascer. Busca o sol. Por isso somos constantemente desafiados a libertar a águia que nos habita.”

Leonardo Boff

A meus pais, Geraldo e Názia
As minhas irmãs, Fabiana e Hélia
A meu afilhado, Heitor

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre comigo e por me fazer tão feliz;

A meus pais Geraldo e Názia, pelo amor, incentivo e ajuda;

Às minhas irmãs Fabiana e Hélia e também aos cunhados Camisola e Urubu;

Ao meu lindo sobrinho e afilhado Heitor;

Ao Prof. Benedito, pela orientação, sugestões, paciência e amizade;

A Prof. Angélica de Cássia, pelos ensinamentos, amizade e valiosos puxões de orelhas;

Ao Prof. Ricardo Marius Della Lucia, pela ajuda e pelas histórias divertidas;

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal, pela formação científica e pelos amigos que fiz;

À Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa de mestrado;

À Marisângela (Baranga), pelas brincadeiras, pelo companheirismo, pelos ouvidos e pela amizade;

Ao meu melhor amigo Felipe, a quem eu amo com todo o meu coração, e que mesmo longe sempre estive muito perto;

À Gláucia, por toda ajuda, por ser tão prestativa e por ter o maior coração do mundo;

À Mônica e Lílian, minhas ETERNAS companheiras, agradeço por me fazerem compreender tão bem a importância dos verdadeiros amigos, ou simplesmente agradeço por “TUDO”;

À Gilberto, pelo carinho, atenção e paciência.

À Equipe SUCESSO e Família “JJ”, em especial à Bruna (minha GRANDE amiga) e Mirian;

Aos amigos do coração: Silma, Rúbia, Juliana, Anne, Glau, Caju, Solange, Zaíra, Carla, Mariana, Fábio, Pedrão,...

Aos meus “filhos” que muito me ajudaram: Lumma, Guto, Renato, Tito e Vanessa.

A todos os amigos que estiveram presentes nestes anos de UFV;

Aos funcionários e amigos do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira e do Laboratório de Propriedades da Madeira: Seu Maninho, Zé Maria, Aristeu, Sálvio, Joel, Osvaldo, Fabiano, Márcia, Simone, Brunos, Lorena, Cristiane, Paulo, Fabrício, Cássio, Bráulio e Túlio;

Aos funcionários da Ferraria Silvério e José Olindo pela ajuda na confecção dos instrumentos necessários ao desenvolvimento deste trabalho;

À família Lapem; e

A todos os que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

FLÁVIA ALVES PEREIRA, filha de Geraldo Alves Pereira e Názia Batista Pereira, nasceu em 1º de fevereiro de 1981, em Montes Claros, Minas Gerais, onde concluiu o ensino fundamental e o ensino médio no Colégio Tiradentes da Polícia Militar.

Em 2002, iniciou o Curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em março de 2007.

Iniciou o curso de Mestrado em Ciência Florestal, na área de concentração em Tecnologia da Madeira, na Universidade Federal de Viçosa.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS	ix
RESUMO	xii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Geração e industrialização dos finos de carvão	4
2.2. Briquetagem	7
2.3. Processo produtivo.....	7
2.3.1. Qualidade dos briquetes.....	10
2.3.2. Aglutinantes.....	13
2.3.2.1. Dextrina.....	15
2.3.2.2. APG	15
2.3.2.3. Farinha de babaçu.....	15
2.3.2.4. Silicato de sódio.....	16

2.3.2.5. Alcatrão vegetal.....	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1. Produção dos finos de carvão vegetal.....	18
3.2. Aglutinantes.....	18
3.3. Produção de briquetes.....	19
3.4. Análise estatística.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1 Poder calorífico.....	23
4.2. Materiais voláteis.....	25
4.3. Cinzas	28
4.4. Carbono Fixo	30
4.5. Umidade de equilíbrio higroscópico	32
4.6. Densidade aparente.....	35
4.7. Teste de tamboramento.....	37
5. CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
ANEXOS.....	47

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
1 Secagem dos briquetes aglutinados com alcatrão vegetal	20
2 Classificação dos finos gerados pelo teste de tamboramento	21
3 Análise química imediata e poder calorífico dos aglutinantes e dos finos de carvão vegetal	22
4 Valores médios de mercado	23
5 Valores médios do poder calorífico (kcal/kg) dos briquetes, em função da fração dos finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh) e do tipo de aglutinante	24
6 Valores médios do poder calorífico (kcal/kg) dos briquetes, em função do tipo e teor de aglutinante (%)	25
7 Valores médios do teor de materiais voláteis (%) dos briquetes, em função da fração dos finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh) e do tipo de aglutinante	26
8 Valores médios do teor de materiais voláteis (%) dos briquetes, em função do tipo e teor de aglutinante (%).	26
9 Valores médios dos materiais voláteis (%) dos briquetes, em função do teor de aglutinante (%) e da fração retida nas peneiras (mesh)	26

10	Valores médios dos teores de cinzas (%) dos briquetes, em função da fração retida nas peneiras (mesh) e do tipo de aglutinante	28
11	Valores médios dos teores de cinzas (%) dos briquetes, em função do tipo e teor de aglutinante.	29
12	Valores médios dos teores de cinzas (%) dos briquetes, em função do teor de aglutinante (%) e da fração de finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh)	29
13	Valores médios do carbono fixo (%) dos briquetes, em função fração dos finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh) e do tipo de aglutinante	30
14	Valores médios do carbono fixo (%) dos briquetes, em função do tipo e teor de aglutinante	31
15	Valores médios do carbono fixo (%) dos briquetes, em função da fração de finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh) e pelo teor de aglutinante (%)	32
16	Valores médios de umidade de equilíbrio higroscópico (%) dos briquetes, em função fração de finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh) e do tipo de aglutinante	33
17	Valores médios de umidade de equilíbrio higroscópico (%) dos briquetes, em função do tipo e teor de aglutinante	34
18	Valores médios de umidade de equilíbrio higroscópico (%) dos briquetes em função da fração dos finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh) e do teor de aglutinante (%)	34
19	Valores médios da densidade aparente (g/cm ³) dos briquetes, em função da fração de finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh) e do tipo de aglutinante	35
20	Valores médios da densidade aparente (g/cm ³) dos briquetes, em função do tipo e teor de aglutinante (%)	36
21	Valores médios da densidade aparente (g/cm ³) dos briquetes, em função da fração de finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh) e do teor de aglutinante (%)	36
22	Valores médios do potencial de finos gerados no teste de tamboramento (%) dos briquetes, em função do tipo de aglutinante e da fração de finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh)	38

23	Valores médios do potencial de finos gerados no teste de tamboramento (%) dos briquetes, em função do tipo e teor de aglutinante (%)	38
24	Valores médios do potencial de finos gerados no teste de tamboramento (%) dos briquetes, em função do teor de aglutinante (%) e da fração retida nas peneiras (mesh)	39

RESUMO

PEREIRA, Flávia Alves, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2009. **Efeito da granulometria e de aglutinantes nas propriedades de briquetes de finos de carvão vegetal.** Orientador: Benedito Rocha Vital. Co-Orientadores: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro e Ricardo Marius Della Lúcia.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades dos briquetes produzidos com finos de carvão vegetal para a geração de energia. Para confeccioná-los, foram utilizados três frações de finos de carvão (20, 35 e 60 mesh) e aglutinantes de amido pré-gelatinizado (APG), farinha de babaçu, dextrina, silicato de sódio, nas proporções de 15, 25 e 35% e o aglutinante a base de alcatrão vegetal nas proporções de 70, 80 e 90%. Inicialmente produziu-se o carvão que foi fragmentado, moído e peneirado e os finos foram então misturados aos aglutinantes e homogeneizados. Foram pesados 30 g da mistura, a qual foi levada para a prensa onde foi aplicada uma pressão de nove toneladas durante um minuto. A cura dos aglutinantes foi obtida aquecendo-se os briquetes em um forno à temperatura de 200°C por 30 minutos. Aqueles confeccionados com alcatrão vegetal foram aquecidos durante 1h a 150°C; 1h a 200°C; 1h a 350°C; e 1h a 450°C. Foram produzidos dez briquetes por tratamento, totalizando 600. A densidade aparente foi obtida seguindo-se a metodologia descrita pela norma ABNT NBR 9165. Para a análise

química imediata (umidade, materiais voláteis, teor de cinzas e carbono fixo) aplicou-se a metodologia expressa na norma ABNT NBR 8112, e o poder calorífico superior dos briquetes foi determinado utilizando-se os procedimentos descritos pela norma da ABNT NBR 8633. De acordo com os resultados, os briquetes produzidos com alcatrão vegetal apresentaram os maiores valores médios para o poder calorífico, com resultados superiores a 7.200 Kcal/kg. Os maiores valores médios para os materiais voláteis foram encontrados nos briquetes produzidos com os aglutinantes amiláceos, destacando-se dentre estes o APG. Os briquetes confeccionados com silicato de sódio apresentaram altos teores de cinzas, o que pode inviabilizar alguns dos seus usos, como a utilização no setor siderúrgico. Os menores valores médios de resistência obtido no teste de tamboramento foram encontrados nos briquetes aglutinados com APG. Entretanto, aqueles briquetes produzidos com farinha de babaçu, silicato de sódio e alcatrão vegetal geraram em torno de 40% de finos de carvão vegetal. Esses resultados evidenciam baixa resistência ao choque, o que poderá vir a comprometer seu manuseio, armazenamento e transporte.

ABSTRACT

PEREIRA, Flávia Alves, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2009. **Effect of size and binders in briquettes properties of charcoal fines.** Adviser: Benedito Rocha Vital. Co-Advisers: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro e Ricardo Marius Della Lúcia.

The objective of this study was to evaluate the properties of the briquettes made with charcoal fines for power generation. To cook them, three fractions of charcoal fines (20, 35 and 60 mesh) and binders pregelatinized starch, babassu flour, dextrin, sodium silicate, in proportions of 15, 25 and 35 %, and the binder-based tar in proportions of 70, 80 and 90% were used. Initially, the coal was produced, fragmented, ground, and sieved. The fines were then mixed with binders and homogenized. 30 g of the mixture were weighed, and put under a press of nine tons for one minute. Curing the binder was obtained by heating the briquettes in an oven at 200° C for 30 minutes. Those made of tar were heated for 1 h at 150° C, 1h at 200° C, 1h at 350° C and 1h at 450° C. Ten briquettes per treatment were produced, totaling 600. The apparent density was obtained following the methodology described in ABNT NBR 9165, standards. For chemical analysis (moisture, volatiles materials, ash content, and fixed carbon), the methodology expressed in ABNT NBR 8112 was applied, and the briquettes calorific value was determined, using the described procedures by ABNT NBR 8633. According

to the results, the briquettes produced with tar showed the highest calorific average values, with results exceeding 7200 kcal/kg. The highest average values for the volatile materials were found in the briquettes produced with starch binders, especially those among the binders pregelatinized starch. The briquettes made from sodium silicate showed high levels of ash, which can derail some of their uses, such as in the steel industry. The resistance lowest average values obtained in Tumbling test were found in the briquettes agglutinated with pregelatinized starch. However, those briquettes produced with babassu flour, sodium silicate, and tar generated charcoal fines around 40%. These results show low resistance to shock, which could jeopardize its handling, storage, and transportation.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos é crescente o interesse por fontes energéticas alternativas e sustentáveis e, dentro desse contexto, destaca-se a utilização de biomassa em substituição aos combustíveis fósseis. Porém, é preciso que haja um manuseio mais consciente destes recursos para que se reduza a pressão sobre os remanescentes florestais.

O carvão vegetal é uma fonte energética importante não só pela sua natureza renovável como também pelo seu papel histórico e econômico no desenvolvimento do país. Em média, $\frac{1}{4}$ da produção mundial de carvão vegetal advém do Brasil, destacando-se o Estado de Minas Gerais que apresenta o maior consumo e geração deste insumo, usado principalmente pelo segmento siderúrgico (PINHEIRO e SAMPAIO, 2001).

Durante as fases de produção, transporte, manuseio e peneiramento nas usinas siderúrgicas, o carvão vegetal gera em torno de 25% de finos, dificultando ou mesmo inviabilizando sua utilização em alguns setores, como, por exemplo, em alto-fornos, onde são desejáveis carvões com alta resistência e formato geométrico definido. Através da briquetagem com o uso de aglutinantes, o que envolve balanceamento

granulométrico, mistura proporcional de aglutinantes, compactação, coqueificação ou secagem, consegue-se o aproveitamento dos finos na forma de um combustível mais denso, mais homogêneo, com uniformidade granulométrica, facilidade de manuseio e transporte, o que permite seu transporte ao longo de maiores distâncias, além de obter-se um produto com características semelhantes ao do carvão (FONTES et al., 1989).

Dependendo da finalidade dos briquetes, eles deverão apresentar características adequadas, como resistência ao manuseio, transporte, estocagem, acendimento e, principalmente, baixa toxidez para uso doméstico e resistência ao calor, funcionando como termorredutor para o setor siderúrgico.

A briquetagem consiste na técnica de prensagem de pequenas partículas de material lignocelulósicos, com ou sem a adição de ligantes, formando estruturas mais densas e compactas e com maior valor comercial. Alguns trabalhos, sobre sua produção e uso, foram desenvolvidos por empresas siderúrgicas e instituições de ensino e pesquisa, mas a bibliografia disponível sobre o assunto é ainda escassa. O briquete é considerado uma opção ecológica de energia e, aliado a uma preocupação mundial com questões naturais como o efeito estufa e suas consequências no clima, possibilita uma ascensão de energias limpas em relação aos combustíveis não-renováveis. Hoje, praticamente todos os tipos de resíduos orgânicos podem ser reutilizados para produção de energia.

Segundo estudos desenvolvidos por Couto et al. (2004), os briquetes comercializados no Brasil enfrentam desafios como o alto preço do frete da matéria-prima, a concorrência com os baixos preços da lenha e do carvão vegetal, elevados impostos, ausência de promoção do produto e necessidade de capital de giro. No mercado externo, destacam-se os grandes pedidos comerciais feitos às pequenas empresas de briquetagem, a burocracia do governo e o elevado custo para o capital de giro que se apresentam como entraves ao comércio deste produto. Acrescenta-se também a falta de conhecimento do mercado nacional do produto, tendo como prática comum a mistura dos briquetes com carvão vegetal.

No entanto, estudos relacionados à determinação de suas características e de suas propriedades se fazem necessários para melhor orientação dos consumidores e também do mercado sobre o produto.

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar as propriedades dos briquetes, produzidos a partir de finos de carvão vegetal de *Eucalyptus* spp. aglutinados com farinha de babaçu, APG (pré-gelatinizado), silicato de sódio, dextrina e alcatrão vegetal em diferentes proporções.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. GERAÇÃO E INDUSTRIALIZAÇÃO DOS FINOS DE CARVÃO

As principais matérias-primas utilizadas pelo homem na geração de energia e produtos químicos, até finais do século XIX e início do XX, eram o carvão mineral e a lenha. Porém, por volta do ano de 1930, esta situação mudou devido ao desenvolvimento da indústria petroquímica. As crises de petróleo entre 1970 e 1980 evidenciaram a forte dependência mundial deste produto fóssil. A partir de então, iniciaram-se grandes esforços, não só para desenvolver tecnologias de produção de energia a partir da biomassa, mas também para a obtenção de novos insumos para a indústria química, de alimentos, ou mesmo petroquímica. Estes insumos até o presente são todos basicamente produzidos em larga escala, a partir do petróleo (GÓMEZ, 2002).

É neste cenário que a biomassa tem sido cogitada como alternativa devido às suas características ambientais, de baixo preço, com potencial de produção no limite das terras cultiváveis e renováveis a cada ciclo, destacando-se os materiais lignocelulósicos, oriundos de florestas (CORTEZ e BORBA, 1997).

Em muitos países, a disponibilidade de lenha, ou seja, de madeira para geração direta de energia é precária, enquanto, em outros países, a tendência é uma crescente diminuição da oferta paralelamente a um crescente aumento da demanda, devido ao aumento populacional e condições de pobreza (LIMA, 1996).

Apesar da deficiência de lenha, o custo atribuído à madeira destinada ao carvoejamento é baixo, o qual, aliado às precárias tecnologias do setor, compromete o aproveitamento dos resíduos da carbonização. Segundo dados da Associação Mineira de Silvicultura - AMS (2009), em 2008 foram produzidos no Brasil mais de 33 milhões de metros cúbicos de carvão vegetal, sendo que Minas Gerais destaca-se como principal produtor, com aproximadamente 20 milhões de toneladas, correspondendo a 70% de toda a produção do país.

Felfli (2003), citado por Carvalho e Brinck (2004), afirma que, no caso específico do mercado doméstico, o consumo de carvão vegetal para churrasco é elevado na população urbana do Brasil. Assim, por exemplo, em São Paulo são produzidas 108.360 toneladas por ano, sendo que 64% vão para o consumo doméstico (churrasco) e 36% para o consumo em estabelecimentos comerciais (pizzarias, churrasarias e restaurantes). Uma pesquisa de mercado direcionada ao consumidor doméstico de carvão vegetal mostrou que a maioria dos consumidores não tem preferência por marcas ou tipos de carvão. Quando questionados sobre o fator determinante na decisão de compra, a maioria respondeu que em primeiro lugar estava a disponibilidade do produto sem se importar com a marca, deixando, em segundo lugar, o preço. Isso evidencia que a concorrência entre marcas é praticamente nula, possibilitando que novos produtos possam disputar este mercado.

As etapas posteriores ao processo de carbonização geram uma alta porcentagem de finos que pode limitar ou inviabilizar alguns de seus usos devido às suas dimensões ou à maior probabilidade de contaminação. Os finos com granulometria abaixo de 9 mm podem ser injetados nas ventaneiras dos alto-fornos, entretanto, granulometrias abaixo de 2 mm são indesejáveis devido à maior contaminação deste material com terra e, conseqüentemente, maior geração de cinzas. A briquetagem de finos de carvão vegetal surge nesse contexto como uma forma de agregar valor a esse resíduo e oferecer ao mercado um produto de fácil trabalhabilidade, com a vantagem adicional de reduzir o impacto da exploração irracional das florestas.

O preço do carvão vegetal é baixo, quando comparado a outras fontes energéticas, podendo inviabilizar a comercialização de briquetes ou deixar margens de lucro muito estreitas. Alguns fatores devem ser considerados no estudo de viabilidade econômica de plantas de briquetagem e comercialização do produto. Aspectos como preço e características da matéria-prima são necessários para que haja uma análise do custo de transporte até o local onde o material será briquetado ou do briquete até o consumidor final. Além disso, é necessário que se busquem meios que amortizem os valores, procurando baratear o produto. Os custos de produção deverão ser semelhantes aos preços dos combustíveis energéticos, embora maiores preços em alguns mercados, como o doméstico e o comercial, ainda são viáveis devido aos fatores compensatórios de seus produtos, como menor umidade, uniformidade geométrica e poder calorífico. A complexidade da planta de briquetagem influencia significativamente nos custos de investimento e deve ser avaliada em função dos volumes de produção previstos (FILIPPETO, 2008; GENTIL, 2008; BEZZON, 1994). A tonelada de finos de carvão vegetal é comercializada, atualmente, em torno de R\$ 650,00, enquanto a de briquetes é vendida por R\$ 1000,00, evidenciando, assim, a potencialidade de sua produção.

O consumo de briquetes, em nível mundial, é um mercado crescente, principalmente na época do verão nos Estados Unidos e na Europa Ocidental. A produção mundial está em torno de 1.500.000 t/ano, o que equivale à produção de um quarto do carvão vegetal produzido pelo Estado de Minas Gerais. Os principais produtores de briquetes são Alemanha, México, Equador, Croácia, África do Sul e Estados Unidos, sendo que a produção americana é de 900.000 t/ano, concentrada principalmente nos estados da Carolina do Norte e Carolina do Sul. Neste país, o carvão é produzido principalmente a partir de resíduos de agriculturas, serragem e aparas de madeira, o que contribui para um produto de baixo teor de carbono fixo (VANTAGENS, 2009).

No Brasil, duas empresas destacam-se na produção de briquetes a partir de finos de carvão vegetal, localizadas em Santa Catarina e Sete Lagoas. Apesar de se apresentar como o maior produtor e consumidor de carvão vegetal no mundo, o Brasil não tem tradição de uso de briquetes de carvão.

Para superar e entender os desafios da competitividade do mercado, é necessário que sejam introduzidos modernos métodos de avaliação de custos e lucros empresariais,

uma vez que é crescente a preocupação com a importância econômica e estratégica da agroenergia e dos biocombustíveis. Informações que atribuam maior visibilidade contábil e novos investimentos ao negócio se apresentam como alternativas factíveis para que se consigam baixo risco e maior lucro possível (GENTIL, 2008).

2.2. BRIQUETAGEM

A briquetagem de biomassa é uma prática antiga e uma das técnicas consideradas, em termos gerais, como tecnologia de compactação. Consiste na prensagem de pequenas partículas de material sólido para formar blocos de forma definida e tamanho maior. A compactação ocorre dentro de moldes matrizes, em orifícios entre cilindros rotativos ou processos similares, sendo que os subprodutos de beneficiamento agroflorestal e finos de carvão se convertem em material de maior valor comercial. Além disso, essa técnica pode requerer ou não a aplicação de pressão, adição de ligantes e tratamento térmico posterior. No caso do carvão vegetal, usa-se, geralmente, um aglutinante, que pode ser de várias naturezas, porque esta é a maneira mais econômica de compactá-lo. Os finos devem ter uma distribuição granulométrica adequada para proporcionar qualidade do briquete e economia do aglutinante (QUIRINO, 1991; SALEMA, s.d.; ANTUNES, 1982; QUIRINO, s.d.; FILIPPETO, 2008).

Segundo a Komarec Research (s.d.), citada por Quirino (1991), a qualidade dos briquetes é avaliada baseando-se em algumas de suas propriedades peculiares ou em algumas de suas características de comportamento durante o uso, como, por exemplo, a capacidade de ignição dos briquetes, avaliada de acordo com a metodologia descrita pela norma ASTM – D 2677.

2.3. PRODUÇÃO DE BRIQUETES

Segundo Quirino (1991), para que a produção e o uso de briquetes de carvão vegetal sejam implementados no Brasil, questões relacionadas às suas propriedades e características deverão ser estudadas, permitindo melhor orientação para o mercado, tanto para consumidores quanto para produtores. Assim, os briquetes não seriam

comparados ao carvão vegetal, constituindo-se em um energético sólido com características próprias.

Moro (1987) descreve uma metodologia para briquetagem de finos de carvão vegetal, baseada nos seguintes passos:

- Moagem do carvão – é necessária para evitar que partículas muito grandes prejudiquem a ação dos materiais ligantes. Normalmente, utilizam-se moinhos de martelo, e a faixa granulométrica ideal, geralmente abaixo de 3 mm, é função da natureza do carvão, do tipo de prensa, da forma e tamanho do briquete.

- Mistura com o aglutinante - o aglutinante é um material, cuja função é unir as partículas do carvão. A escolha e a quantidade do material ligante são de suma importância na manufatura dos briquetes, devido à sua sensibilidade aos custos do processo.

- Prensagem – para que o briquete adquira formato geométrico definido e resistência, é necessário que a mistura de carvão e ligante receba uma pressão definida. O aquecimento simultâneo deve ser realizado de acordo com o ligante em uso.

- Secagem - alguns ligantes são adicionados com água ao briquete, proporcionando alta umidade ao produto final, razão pela qual eles devem ser secos, o que geralmente é conseguido com a passagem de ar quente e seco.

- Estocagem e embalagem – nesta etapa, os briquetes serão armazenados em silos de estocagem, dimensionados para manter um estoque intermediário entre produção e distribuição. Em seguida, são empacotados para consumo.

De acordo com Saleme (s.d.), citado por Quirino (1991), as condições em que foi feita a carbonização irão interferir tanto na porosidade quanto na resistência do carvão vegetal. Isto justifica o estudo das conseqüentes modificações que podem ocorrer em briquetes submetidos a tratamentos térmicos durante ou após a secagem. Além disso, é importante conhecer a química de superfície do carvão vegetal, assim como a estrutura dos finos. Isto é necessário para que se possa determinar a quantidade de aglutinante usado na mistura e controlar o fenômeno de “creep”, que acontece em determinadas temperaturas do tratamento e, também, evitar o trincamento do briquete na ocasião da desmoldagem.

Fontes et al. (1989) afirmam que a granulometria influi diretamente na quantidade do aglutinante, na resistência mecânica e decisivamente na qualidade do briquete.

No processo de briquetagem, a prensa destaca-se como principal equipamento, sendo que as briquetadeiras por extrusão contínua, por prensas hidráulicas e por prensas de rolos, são as de uso mais difundido no mercado.

Segundo Cunha (2006), a briquetagem em prensa de rolos é a mais empregada para materiais finos e se divide basicamente em quatro partes:

- Preparação: nesta etapa, determinam-se as características do material a ser briquetado e o equipamento, máxima pressão a ser aplicada, assim como a taxa de compactação que o material requer. É a partir dessas características que se define a quantidade de aglutinante a ser utilizado;
- Mistura: deve ser feita com uniformidade na distribuição do aglutinante no material a ser briquetado e com homogeneização da mistura. O dimensionamento desse misturador é importante, pois dele dependerá o tempo de residência do material. Caso haja necessidade de tratamento térmico, este poderá ser realizado no próprio equipamento através de vapores saturados e superaquecidos. A mistura deverá ser suficientemente seca, pois os gases (na sua maioria vapores d'água) poderão sofrer compressão e fraturas ao deixarem a prensa através da sua expansão;
- Compressão: compreende dois cilindros de diâmetros iguais, girando em direções opostas, à mesma velocidade. Os briquetes são formados de acordo com as dimensões das cavidades entre os vãos existentes entre os rolos; e
- Tratamento térmico: os briquetes são aquecidos e, em seguida, resfriados lentamente, evitando assim a formação de fraturas devidas os choques térmicos, permitindo o manuseio.

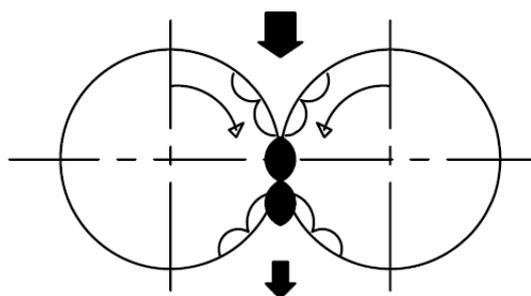


FIGURA 1- Briquetadeira de rolo (BEZZON, 1994)

A compressão consiste na aplicação de forças, exercidas pelos rolos em um determinado material, de modo a produzir uma considerável elevação na massa específica da matéria compactada e redução na umidade do produto. Determina-se a compressão com base nas características do material, do diâmetro dos rolos, da forma e do tamanho do briquete. O briquete irá adquirir resistência mecânica e formato geométrico definido, além de um aumento da densidade em relação ao material inicial (BEZZON, 1997; MELO, 2000; CUNHA, 2006).

Depois de prensados, os briquetes, normalmente, são levados para secadores com o objetivo de evaporar a água, ou outro solvente, contribuindo assim para maior resistência mecânica. É importante salientar que o processo de secagem envolve um gasto energético, que poderá inviabilizar ou limitar a produção dos briquetes.

2.3.1. Qualidade dos briquetes

Nos anos 60, a Companhia Siderúrgica Belgo Mineira instalou em João Monlevade - MG o primeiro equipamento para briquetagem de finos de carvão vegetal. Foi a primeira iniciativa brasileira para produção industrial de briquetes. Em 1965, a Companhia Brasileira de Briquetes, situada em Mateus Lemes, MG, iniciou suas atividades de prestação de serviços de briquetagem com uma máquina de fabricação japonesa, e contava, como principal matéria-prima, com finos de carvão vegetal, provenientes de fornos cubilot (CARVALHO e BRINCK, 2004).

Estudos sobre a produção de briquetes de carvão vegetal no Brasil, com tecnologia importada, evidenciaram a inviabilidade econômica desta técnica. Com isso,

torna-se necessário o desenvolvimento de equipamentos e instrumentação nacionais, visto que o Brasil já atingiu um bom nível tecnológico, até exportando produtos de elevada sofisticação (FONTES et al., 1989).

Brito e Nucci (1984) analisaram a produção de carvão vegetal de madeiras de pinheiros tropicais (*P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. oocarpa*) e complementaram seus estudos com a briquetagem do carvão produzido. Apesar do menor rendimento gravimétrico e, conseqüentemente, maior consumo de madeira usada na carbonização, constataram que os briquetes de Pinus poderiam ser utilizados na siderurgia e também no uso doméstico. Bons resultados foram obtidos quando foram misturadas 40 partes do aglutinante de alcatrão de babaçu e 1,5 partes de cal hidratada, a uma temperatura de secagem em torno de 400°C, durante 30 minutos. A pressão não influenciou na qualidade dos briquetes, porém recomendaram-se valores próximos a 300 kgf/cm².

Segundo Quirino (1991), algumas características são fundamentais para a qualidade dos briquetes, como a compactação, comportamento na combustão, densidade relativa aparente, forma e dimensões.

Melo (2000) avaliou a qualidade dos briquetes produzidos com cinco granulometrias de finos de carvão vegetal, quatro proporções de alcatrão de madeira anidro e três pressões de compactação e concluiu que os briquetes confeccionados com as menores partículas de carvão apresentaram os melhores resultados para composição química e características físicas e mecânicas. Observou também que a densidade aparente, a porosidade e a resistência mecânica dos briquetes foram influenciadas principalmente pela pressão de compactação, seguida da proporção de alcatrão.

Ainda segundo este autor, devido à uniformidade dentro do mesmo lote, o processo de briquetagem possibilita emitir laudo de composição química na embalagem, permitindo sua produção para usos diferenciados tais como domésticos, em siderurgias e metalurgias.

Para uso siderúrgico, são necessárias as seguintes características: materiais voláteis abaixo de 15 %, carbono fixo acima de 73 %, teor de enxofre abaixo de 0,5 % e resistência mecânica à compressão à quente superior à 70 kg/cm² (QUIRINO, s.d.).

A produção de briquetes de boa qualidade depende não só da quantidade de aglutinante ou ligante como também da qualidade do material a ser briquetado, entre

outros fatores. Entretanto, os principais fatores que determinam a quantidade de aglutinante a ser utilizado são: a superfície específica do material e a quantidade de partículas finas ou grossas. No caso da briquetagem de carvão, a mistura não poderá conter mais de 20% das partículas com tamanho menor do que 0,5 mm e não mais do que 5% de partículas com tamanho menor do que 90 μm (CARVALHO e BRINCK, 2004).

Silva (2007) confeccionou briquetes a partir de finos produzidos da pirólise de resíduos lignocelulósicos (casca, maravalha e serragem) oriundos do processamento mecânico da madeira de *Eucalyptus pellita*, nas temperaturas de 400 °C e 600 °C. Observou-se também uma tendência ao aumento da higroscopicidade dos briquetes dos carvões à medida que foi aumentada a temperatura de carbonização do resíduo e que briquetes derivados de carvões de casca pirolisada a 400 °C e 600 °C apresentaram um elevado ritmo de degradação térmica.

Pereira (2007) analisando as características físicas e químicas de briquetes produzidos com finos de carvão vegetal e aglutinante de silicato de sódio, constatou que os briquetes são uma fonte viável para geração de energia e aproveitamento de resíduos. Considerando o poder calorífico, Pereira (2007) concluiu que os briquetes têm boa aplicação como fonte energética em usos doméstico e comercial, tais como churrasqueiras, fornos de pizzarias e restaurantes, lareiras, caldeiras e outros. Os maiores valores médios de poder calorífico e teor de carbono fixo foram apresentados pelos briquetes produzidos com a fração de finos retida na peneira de 20 mesh e 15% de aglutinante de silicato de sódio.

Cruz (2008) estudou o uso de briquetes de finos de carvão vegetal, provenientes de *Eucalyptus* sp e *Schizolobium amazonicum* (Paricá), e aglutinantes à base de silicato de sódio e amido de milho, para geração de energia. O autor verificou que os briquetes produzidos com aglutinante de amido e partículas retidas na peneira de 35 mesh apresentaram os maiores valores de poder calorífico. Entretanto, a adição de carvão de paricá aos briquetes diminuiu seu poder calorífico, assim como o aumento no percentual do aglutinante de silicato de sódio adicionado. O silicato de sódio aumenta também o teor de cinzas dos briquetes, limitando seu uso no setor siderúrgico.

Lucena et al. (2008) chamam atenção para a necessidade de comparar a qualidade de diferentes briquetes e criar, a partir dos resultados obtidos, uma classe de

qualidade para aqueles confeccionados com carvão vegetal. Afirmam ainda que a compactação é um fator preponderante para a qualidade de um briquete de carvão vegetal e de seu comportamento na combustão.

Existe uma grande perspectiva, sob o ponto de vista energético, de substituir finos de madeira, ou outras fontes térmicas por briquetes de finos de carvão vegetal (LUCENA et al., 2008).

Deste modo, segundo Carvalho (2006), a Companhia Valle do Rio Doce pretende implantar o Projeto de Briquetagem de Finos, com o intuito de diminuir o volume de carvão vegetal granulado na produção de ferro-gusa. A implantação do projeto dispôs de um investimento em torno de R\$20 milhões em cada polo, sendo um no Estado do Maranhão e o outro no Estado do Pará, e contará com a parceria da Vale e das Siderurgias de Carajás (Asica). Entretanto, não há uma data precisa para implantação desse projeto, uma vez que deverão ser realizadas pesquisas sobre a disponibilidade de finos, além do licenciamento ambiental do projeto. Espera-se que haja uma redução no corte de 10 a 15 mil hectares de floresta/ano e consequente redução do custo da produção de gusa, além de se apresentar como uma alternativa mais ambientalmente sustentável. A primeira etapa foi concluída em 2006 e, de acordo com os resultados de testes realizados, a cada quilo de fino de carvão reaproveitado, houve uma redução efetiva de um quilo de carvão granulado consumido para a produção de ferro-gusa.

Dependendo do uso, os briquetes deverão possuir características desejáveis para atender o mercado consumidor, como, por exemplo, o siderúrgico, onde o briquete atua como termorredutor, necessitando assim possuir resistência térmica. Já para o uso doméstico, a baixa toxidez é a propriedade mais importante, seguida da resistência ao manuseio, facilidade de acendimento, facilidade de transporte e estocagem.

2.3.2. Aglutinantes

Para a produção dos briquetes de finos de carvão vegetal, normalmente são utilizados aglutinantes para propiciar e manter a agregação das partículas. A escolha do aglutinante se baseia, geralmente, nos gastos e na qualidade desejada. Outro ponto importante a se considerar na escolha do aglutinante é a emissão de fumaça e o

desprendimento de gases poluentes durante a sua queima, que limitarão ou não seu uso. Com isso, o estudo do melhor material ligante é de fundamental importância no processo de briquetagem. O aglutinante escolhido não deve prejudicar as características energéticas do carvão, diminuindo o rendimento calorífico, aumentando o teor de voláteis e cinzas, e seu gasto não poderá inviabilizar economicamente o briquete (FONTES et al., 1989).

As principais características a serem consideradas nos aglutinantes são: baixo custo, fácil aplicação, alta resistência mecânica, alta taxa aglomerante, inexistência de material inerte em sua composição, resistência às condições adversas do meio, como umidade, e boas condições de operacionalidade.

Segundo Pietsch (1976), citado por Quirino (1991), os aglutinantes podem ser classificados em três tipos: matriz, filme e químico.

- Aglutinantes tipo matriz - formam uma matriz contínua, envolvendo completamente as partículas. São exigidas quantidades razoáveis do aglutinante porque, geralmente, as substâncias são pouco resistentes e dependem de uma fase contínua em torno das partículas individuais. Ex: alcatrão vegetal e mineral, asfalto ou piche de petróleo.
- Aglutinantes tipo filme – são usados geralmente como soluções ou dispersões, como o álcool, a acetona, o tetracloreto de carbono, entre outros, porém a água se destaca como o solvente mais comum. Quando úmidos, os briquetes apresentam baixa resistência, e quando secos observa-se alta resistência. No caso de materiais orgânicos ou produtos celulares, a água estimula a adesão pelas forças de Van der Waals, devido ao aumento da área verdadeira de contato entre partículas. Ex: silicato de sódio, água, amido, melão, os lignosulfatos e outros.
- Aglutinantes químicos – são aqueles aglutinantes que dependem de reações químicas efetivas dos componentes do aglomerado entre si ou entre o aglomerante e o material que está sendo aglomerado. Os aglutinantes químicos podem ser do tipo matriz ou filme, dependendo, principalmente, da resistência e das características dos produtos das reações. Ex: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{melaço}$; $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2$; $\text{MgO} + \text{Fe}_3\text{O}_4$; silicato de sódio + CO_2 ; e outros.

Pietsch (1976), citado por Quirino (1991), identifica substâncias que são adicionadas ao material a ser aglomerado para diminuir o atrito entre partículas ou entre equipamento e material, as quais são denominadas lubrificantes. Um dos lubrificantes mais comuns é a própria água.

2.3.2.1. Dextrina

A dextrina é um amido granular, não ramificado, com moléculas reorganizadas pela conversão termoquímica do amido, o que confere aos grânulos a propriedade de se solubilizar na água fria (INTERNATIONAL STARCH INSTITUTE, 2009). Solúvel em água ou álcool muito diluído pode ser utilizada como adesivo para o fechamento de caixas de papelão, fabricação de tubos e tubetes, fabricação de aglutinantes, rotulagem, artefatos de papel, cones de papel etc. São utilizadas como agentes colantes, preparadores de superfície, modificadores de reologia, veículo de agentes inertes, espessantes, ligantes, agentes de penetrabilidade, aglomerante e dispersante, entre outras características (ADESIVOS e SELANTES, 2009).

2.3.2.2. Amido pré-gelatinizado (APG)

A gelatinização da farinha de milho, produzida por extrusão, caracteriza-se pela perda da orientação da molécula de amido devido à quebra da estrutura cristalina do grânulo, quando aquecida na sua faixa de temperatura de gelatinização ou também acima desta. Na briquetagem, os aglutinantes de amido pré-gelatinizados são misturados diretamente aos finos de carvão e, posteriormente, adiciona-se água. Em grande escala, poderá ter seu uso limitado devido ao seu alto custo.

2.3.2.3. Farinha de babaçu

A produção de babaçu, classificado cientificamente como *Orbignya speciosa* (Mart.), está concentrada na parte sul do Estado do Maranhão, ao norte do estado de Tocantins e no Estado do Pará. No sul do Maranhão, cerca de 1550 famílias de

agricultores familiares e extrativistas vivem da produção do babaçu e produtos derivados (SLOW FOOD BRASIL, 2009).

A farinha de babaçu é produzida a partir do mesocarpo, que representa cerca de 17% a 22% do fruto e é composta por até 60% de amido, podendo ser empregada juntamente com a torta de extração de óleo para a ração animal, sua aplicação mais promissora. Possui cerca de 20% de fibras, 8-15% de umidade e de 4-5% de substâncias diversas, incluindo sais minerais, taninos e uma pequena quantidade de proteínas (CECCHI, 2003; PORTO, 2004).

Atualmente a farinha de babaçu está sendo utilizada no mercado nacional como carga na indústria de painéis de madeira compensada.

2.3.2.4. Silicatos de sódio

Os silicatos são feitos pela fusão de carbonato de sódio e sílica (areia) num forno parecido com o da fabricação de vidro, sendo que a reação ocorre a cerca de 1.400°C, entre $\text{Na}_2\text{CO}_3 + n\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Na}_2 \cdot n\text{SiO}_2 + \text{CO}_2$, sendo que naqueles mais comuns, o n é igual a 2,0 ou 3,2 (SHREVE e BRINCK, 2008). Dentre as diversas utilizações, os silicatos de sódio atuam como adesivos na indústria de transformação de papel. Suas aplicações são para a produção de tubos e barricas de papel e fechamento de caixas em geral, entre outras. Os silicatos de sódio são também usados na fabricação de papelão ondulado, papel cartão e na laminação de papel/alumínio. Em muitas utilizações, o ligamento ou ancoramento pode ser reforçado pelo aquecimento ou reações químicas (ÍNEOS SÍLICAS, 2009).

2.3.2.5. Alcatrão vegetal

Segundo Beenackers & Bridgwater (1991), citados por Luengo et al. (1997), a pirólise é um processo físico-químico no qual a biomassa é aquecida a temperaturas relativamente baixas em atmosfera não oxidante, dando lugar à formação de um resíduo sólido rico em carbono (carvão) e a uma fração volátil composta de gases e vapores orgânicos condensáveis (licor pirolenhoso).

O alcatrão é uma mistura complexa de compostos químicos fenólicos e não fenólicos, obtidos a partir da destilação destrutiva de materiais orgânicos como o alcatrão mineral, petróleo ou madeira (EGREJA, 1999).

O aglutinante de alcatrão vegetal destaca-se no processo produtivo de briquetes por conferir resistência mecânica e por elevar sua eficiência energética, apresentando poder calorífico superior ao do carvão, além de possibilitar o uso de um resíduo florestal pouco aproveitado. Porém, depois de destilados, apresentam baixa solubilidade e alta viscosidade, necessitando de aquecimento para redução da viscosidade e consequente homogeneização com as partículas de carvão. Na etapa de secagem, os briquetes produzidos com alcatrão vegetal requerem temperaturas mais elevadas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Produção dos finos de carvão vegetal

O carvão vegetal foi produzido com madeira de *Eucalyptus* spp., fornecida pela Copener Florestal Ltda., atual Bahia Pulp. As carbonizações foram feitas em um forno container com tempo médio de oito horas. O carvão produzido foi fragmentado em pequenos pedaços sobre uma lona, com auxílio de uma barra de ferro e depois de homogeneizado foram triturados em um moinho Renard para reduzir ainda mais o tamanho das partículas. Os finos foram classificados por uma sequência de quatro peneiras, a fim de obter as frações desejadas. Foram recolhidas as frações de finos retidas nas peneiras de 20, 35 e 60 meshes. Uma peneira de 10 mesh foi utilizada para reter os pedaços maiores de carvão. A sequência de peneiras foi colocada em um agitador tipo Betel, para análises granulométricas, e recolhidos seis quilogramas de finos, os quais foram, posteriormente, armazenados em sacos plásticos. A granulometria mista foi obtida por meio da retirada de partes iguais das frações de finos de carvão vegetal de 20, 35 e 60 “meshes”.

3.2. Aglutinantes

Os aglutinantes dextrina e silicato de sódio foram doados pela Tubominas Indústria e Comércio Ltda., e o aglutinante de amido pré-gelatinizado (APG), Amidomix Gel, foi cedido pela Gem Alimentos. Utilizou-se ainda a farinha de babaçu, comprada da empresa Tobasa Ltda.

O alcatrão vegetal, doado pela empresa V&M do Brasil, foi obtido a partir da condensação dos gases da carbonização de *Eucalyptus cloeziana* e apresentava 28,9% de umidade e 108,867 cP de viscosidade, de acordo com as especificações do produto. Para reduzir a umidade inicial do alcatrão vegetal, ele foi destilado por quatro horas e meia, até a temperatura de 250°C.

3.3. Produção dos briquetes

Para a produção dos briquetes, foram utilizados finos de carvão vegetal retidos nas peneiras de 20, 35, 60 mesh e mista (formada a partir da mistura dos finos citados, em proporções iguais) e cinco aglutinantes (farinha de babaçu, APG, dextrina, alcatrão vegetal e silicato de sódio), nas proporções de 15, 25 e 35% em relação à massa seca. Os briquetes produzidos com alcatrão vegetal foram obtidos a partir de diferentes proporções do aglutinante (70, 80 e 90%) sob a massa dos finos. A quantidade de alcatrão utilizada foi diferente em relação aos demais aglutinantes, em função da baixa resistência dos briquetes em proporções inferiores a 70%. Para o aglutinante de silicato de sódio, considerou-se o teor de sólidos 40,45%, segundo laudo de análise do produto fornecido pelo fabricante.

As misturas dos finos de carvão e os aglutinantes foram feitas manualmente em um béquer, com auxílio de um bastão de vidro. Os aglutinantes em pó (farinha de babaçu, APG e dextrina), para cada tratamento, foram adicionados aos finos de carvão, e em seguida homogeneizadas, para evitar a formação de grumos, quando da adição de 30% em relação à massa total de cada tratamento (aglutinante + finos de carvão). Após a adição de água à mistura, procedeu-se novamente à homogeneização. Para os briquetes produzidos com silicato de sódio, não foi necessária a adição de água, uma vez que o aglutinante se encontra em solução aquosa.

Após a homogeneização dos finos com o aglutinante, foram pesadas 30 gramas da mistura, a qual foi colocada em uma matriz de aço com 30 cm de comprimento e 5,42 cm de diâmetro, sendo a área interna igual a 23,01 cm². Os componentes foram então prensados durante um minuto, a uma carga de nove toneladas.

Após a prensagem, os briquetes foram levados a um forno mufla à temperatura de 200°C, durante 30 minutos para secagem. Para os briquetes produzidos com alcatrão vegetal, a secagem foi feita conforme descrito na Tabela 1.

TABELA 1 - Secagem dos briquetes aglutinados com alcatrão vegetal

Tempo de cura (h)	Temperatura (°C)
1	150
1	200
1	350
1	450

Foram determinadas as seguintes propriedades químicas, físicas e mecânicas dos briquetes:

- Densidade aparente - a densidade aparente do carvão foi obtida, seguindo-se os procedimentos da norma ABNT NBR 9165 e as normas complementares NBR 5734.
- Análise química imediata e umidade de equilíbrio higroscópico – foram determinados o teor de umidade, percentual de materiais voláteis, teor de cinzas e carbono fixo, aplicando-se a metodologia expressa na norma ABNT NBR 8112 out/1986 e adotando as normas complementares NBR 5734 e NBR 6923.
- Poder calorífico - o poder calorífico superior dos briquetes foi determinado utilizando-se a metodologia descrita pela norma da ABNT NBR 8633 out/1984 e pelas normas complementares NBR 5734 e NBR 6923.
- Teste de tamboramento – para determinar a friabilidade, primeiramente foram pesados, aproximadamente, 300 g de briquetes, os quais foram levados a um tambor rotatório por 17 minutos a 30 RPM. O teste de tamboramento foi determinado seguindo-

se a metodologia descrita pela ABNT NBR 8740 de 1985. A classificação dos finos gerados pelo teste de tamboramento seguiu a metodologia sugerida pelo Centro Tecnológico de Minas Gerais (Cetec), para carvão vegetal, citado por Oliveira et al. (1982), que pode ser observada abaixo:

TABELA 2 - Classificação dos finos gerados pelo teste de tamboramento

Classificação	% Perdas (Abaixo de 20 mm)
Muito friável (MF)	≥ 30
Bastante friável (BF)	25 – 29
Friabilidade Média (FM)	15 – 24
Pouco friável	10 – 15
Muito Pouco Friável (MPF)	< 10

3.4. Análise estatística

Para a produção dos briquetes, foram utilizadas 4 dimensões de finos de carvão vegetal retidos nas peneiras de 20, 35, 60 meshes e mista, 5 diferentes aglutinantes (APG, farinha de babaçu, dextrina, silicato de sódio e alcatrão vegetal) e 3 proporções dos aglutinantes (15, 25 e 35%), totalizando 600 briquetes, caracterizando um experimento fatorial completo.

O efeito dos tratamentos experimentais nas propriedades dos briquetes foi determinado empregando-se a análise de variância (Anova). Quando estabelecidas diferenças significativas, os tratamentos foram comparados entre si por meio do teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Utilizou-se o software SAEG.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios da análise química imediata e do poder calorífico superior dos aglutinantes e dos finos de carvão vegetal utilizados neste experimento. Devido às características do aglutinante alcatrão vegetal e silicato de sódio, não foi possível a realização de algumas análises. Essa tabela servirá como referência para a discussão dos resultados.

TABELA 3 - Análise química imediata e poder calorífico dos aglutinantes e dos finos de carvão vegetal

Aglutinantes	Umidade (%)	Materiais Voláteis (%)	Cinzas (%)	Carbono fixo (%)	Poder Calorífico (kcal/kg)
APG	12,63	88,15	0,24	11,61	4427
Babaçu	16,09	86,98	1,17	11,85	3987
Dextrina	10,22	92,03	1,59	6,380	4080
Carvão	6,88	30,67	1,23	68,11	7600
Alcatrão vegetal	--	--	--	--	8500
Silicato de sódio	--	--	--	--	0

A Tabela 4 mostra os preços referentes ao carvão vegetal, finos de carvão, aglutinantes utilizados e também dos briquetes produzidos com os finos de carvão vegetal em 2009. Vale ressaltar que o carvão vegetal é comumente comercializado em mdc (metro cúbico de carvão). Para padronizar as unidades em toneladas, considerou-se que 1 mdc equivale a 200 kg. A avaliação dos preços médios das matérias-primas utilizadas na confecção de briquetes de finos de carvão vegetal evidencia que a produção deste material constitui uma alternativa factível para geração de energia.

TABELA 4 – Valores médios de mercado dos aglutinantes, finos de carvão vegetal, carvão vegetal e briquetes praticados em 2009.

Aglutinantes	Preço(R\$)/ton
APG	650,00*
Babaçu	200,00*
Dextrina	1.300,00
Alcatrão vegetal	500,00
Silicato de sódio	869,00
Carvão vegetal	500,00
Finos de carvão vegetal**	650
Briquetes de carvão vegetal	1000,00*

* sem o frete

**Fração menor que 10 mm

4.1. Poder calorífico superior

O poder calorífico dos briquetes foi afetado pelas frações dos finos de carvão vegetal e pelos diferentes teores de aglutinantes, conforme pode ser observado na Tabela 5. De modo geral, houve uma diminuição do poder calorífico à medida que as frações foram reduzidas. Isso possivelmente ocorreu devido à maior contaminação por impurezas deste material.

O maior valor do poder calorífico foi observado nos briquetes produzidos com alcatrão e a fração mista dos finos. Este resultado também foi observado no estudo

desenvolvido por Melo (2000), que analisou a qualidade dos briquetes produzidos com finos de carvão vegetal e alcatrão de madeira anidro. De acordo com autor a maior estimativa obtida (7636 kcal/kg) para o poder calorífico foi obtida quando se usou na mistura uma proporção de 50% de alcatrão na fração mista dos finos de carvão, com pressão de compactação de 260 kgf/cm².

TABELA 5 – Valores médios do poder calorífico (kcal/kg) dos briquetes, em função da fração dos finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh) e do tipo de aglutinante

Aglutinantes	Fração retida na peneira (mesh)			
	20	35	60	Mista
APG	6751,83 Ab	6538,37 Bc	6326,03 Cb	6471,78 BCc
Babaçu	6678,31 Ab	6748,63 Ab	6329,01 Bb	6435,00 Bc
Dextrina	6680,50 Ab	6501,19 Bc	6363,89 Bb	6640,81 Ab
Silicato	5724,17 Ac	5405,66 Bd	5088,72 Cc	5233,80 Cd
Alcatrão	7321,15 Aa	7273,68 Aa	7104,63 Ba	7388,83 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 6, constatou-se que à medida que se aumenta a quantidade de aglutinante na produção dos briquetes, conseqüentemente, reduz-se seu poder calorífico. Isso se deve ao fato de os aglutinantes apresentarem poder calorífico menor que o do carvão vegetal. O silicato de sódio é constituído por minerais inorgânicos, que possuem baixo poder calorífico. Já os aglutinantes de APG, babaçu e dextrina apresentam valores médios de PCS de 4.427, 3.987e 4.088 kcal/kg, respectivamente, enquanto o carvão utilizado apresenta poder calorífico médio de 7.600 kcal/kg.

Cruz (2008), utilizando finos de carvão vegetal, provenientes de *Eucalyptus* sp e *Schizolobium amazonicum* (Paricá), estudou as propriedades físicas e químicas de briquetes aglutinados com os adesivos à base de silicato de sódio e amido de milho. Os maiores valores de poder calorífico foram obtidos nos briquetes produzidos com amido de milho, na fração retida na peneira de 35 mesh, com valores médios de 6922,85 kcal/kg. No entanto, os briquetes produzidos com silicato de sódio apresentaram os

menores valores, uma vez que esse aglutinante necessita de energia para romper suas ligações, mas não libera energia como os aglutinantes orgânicos na sua decomposição, justificando o efeito negativo no poder calorífico dos briquetes.

O poder calorífico dos briquetes produzidos com alcatrão vegetal não foi afetado pelos teores de aglutinante, contudo, os maiores valores foram obtidos neste tratamento, conforme pode ser observado nas Tabelas 4 e 5. Isto já era esperado, uma vez que o alcatrão possui poder calorífico superior médio de 8.500 kcal/kg.

TABELA 6 – Valores médios do poder calorífico superior (kcal/kg) dos briquetes, em função do tipo e teor de aglutinante (%)

Aglutinantes	Teor de aglutinante (%)		
	15	25	35
APG	6751,96 Ab	6566,97 Bb	6247,08 Cc
Babaçu	6751,17 Ab	6484,21 Bb	6407,83 Bb
Dextrina	6747,48 Ab	6540,41 Bb	6351,90 Cbc
Silicato	5823,94 Ac	5345,30 Bc	4920,02 Cd
Alcatrão*	7254,41 Aa	7255,82 Aa	7305,98 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

*Teor de aglutinante igual a 70, 80 e 90%

4.2. Materiais voláteis

O teor de materiais voláteis dos briquetes foi afetado pela fração dos finos, bem como pelos aglutinantes (Tabela 7). De modo geral, os briquetes confeccionados com as frações retidas na peneira de 35 mesh e mista apresentaram os maiores teores de materiais voláteis, exceto para o alcatrão vegetal.

Os briquetes fabricados com APG apresentaram os maiores teores de matérias voláteis, sendo esses, significativamente, diferentes dos demais. Isso também foi observado por Cruz (2008), que estudou as propriedades de briquetes confeccionados com aglutinante de APG, concluindo que houve um aumento dos materiais voláteis devido à sua degradação térmica ocorrer a baixa temperatura, por volta de 60°C.

Os menores teores de materiais voláteis foram obtidos nos briquetes produzidos com silicato de sódio. Isso se deve à constituição básica do aglutinante, sílica e soda, que são compostos de baixa degradação a 200°C e, conseqüentemente, baixa volatilização.

TABELA 7 – Valores médios do teor de materiais voláteis (%) dos briquetes, em função da fração dos finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh) e do tipo de aglutinante

Aglutinantes	Fração retida na peneira (mesh)			
	20	35	60	Mista
APG	41,18 Ba	43,83 Aa	43,03 Aa	43,50 Aa
Babaçu	39,21 Bb	42,37 Aa	40,10 Bb	42,13 Aa
Dextrina	37,94 Cb	39,92 Ab	37,90 Cc	39,16 Bb
Silicato	25,56 Cd	27,82 Ac	27,07 Be	27,80 Ac
Alcatrão*	29,93 Ac	28,59 Cc	29,26 Bd	28,28 Cc

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

O teor de materiais voláteis presentes nos briquetes também foi afetado pelo tipo e teor de aglutinante (Tabela 8). Os briquetes confeccionados com os aglutinantes amiláceos apresentaram um aumento dos materiais voláteis à medida que maiores percentagens dos aglutinantes foram adicionados. Com base na análise química apresentada pela Tabela 3, observou-se que isso foi ocasionado devido aos altos teores de materiais voláteis destes aglutinantes, que possuem valores acima de 80%. Entretanto, o emprego de silicato de sódio e alcatrão vegetal produziu briquetes com os menores teores de materiais voláteis. Isso possivelmente ocorreu devido à metodologia de secagem seguida pelos briquetes produzidos com alcatrão vegetal, com temperatura máxima de 450°C. Já os briquetes aglutinados com silicato de sódio apresentaram baixos valores médios de materiais voláteis devido à sua composição.

TABELA 8 – Valores médios do teor de materiais voláteis (%) dos briquetes, em função do tipo e teor de aglutinante (%).

Aglutinantes	Teor de aglutinante (%)		
	15	25	35
APG	38,89 Ca	42,42 Ba	47,36 Aa
Babaçu	36,30 Cb	42,08 Ba	44,48 Ab
Dextrina	35,50 Cb	38,85 Bb	41,85 Ac
Silicato	27,70 Ac	26,96 Ad	26,53 Ae
Alcatrão*	29,10 Ac	29,61 Ac	28,34 Ad

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

*Teor de aglutinante igual a 70, 80 e 90%

Na Tabela 9 verifica-se que os briquetes produzidos com 35% de aglutinante apresentaram, de forma significativa, os maiores teores de materiais voláteis.

Avaliando as frações dos finos utilizadas na produção dos briquetes, observa-se que, para os briquetes confeccionados com 15% de aglutinantes, os finos retidos na peneira de 20 mesh proporcionaram, de forma significativa, o menor teor de materiais voláteis dos briquetes. Verificou-se também que não houve diferenças significativas entre os briquetes produzidos com 25% de aglutinante e as frações retidas nas peneiras de 20 e 60 mesh.

TABELA 9 – Valores médios dos materiais voláteis (%) dos briquetes, em função do teor de aglutinante (%) e da fração retida nas peneiras (mesh)

Fração retida na peneira (mesh)	Teor de aglutinante (%)*		
	15	25	35
20	31,57 Cb	35,33 Bc	37,40 Ab
35	34,44 Ca	36,71 Ba	38,38 Aa
60	33,96 Ba	35,73 Ac	36,73 Ab
Mista	34,01 Ca	36,17 Bb	38,34 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

*Para o alcatrão vegetal utilizaram-se diferentes teores de aglutinantes 70, 80 e 90%.

4.3. Cinzas

Conforme pode ser observado na Tabela 10, houve interações significativas entre as frações de finos de carvão retidas nas peneiras e o tipo de aglutinante. Os briquetes que apresentaram os maiores valores de cinzas foram aqueles produzidos com a fração de 60 mesh. Provavelmente, isso foi ocasionado pela maior probabilidade de finas partículas de impurezas ficarem retidas nesta peneira.

O teor de cinzas dos briquetes foi maior naqueles aglutinados com silicato de sódio, sendo significativamente diferente dos demais. Para aqueles produzidos com as frações de finos de 20 e 60 mesh, observa-se que os aglutinantes APG, dextrina e alcatrão vegetal contribuíram para a obtenção dos menores teores de cinzas dos briquetes.

TABELA 10 – Valores médios dos teores de cinzas (%) dos briquetes, em função fração retida nas peneiras (mesh) e do tipo de aglutinante

Aglutinantes	Fração retida na peneira (mesh)			
	20	35	60	Mista
APG	0,61 Cc	0,39 Cb	3,41 Ac	1,32 Bb
Babaçu	1,35 Bb	0,62 Cb	6,62 Ab	1,77 Bb
Dextrina	0,96 Cbc	0,82 Cb	3,80 Ac	1,79 Bb
Silicato	23,19 Ba	21,71 Ca	26,52 Aa	21,58 Ca
Alcatrão	0,69 Cc	0,63 Cb	2,27 Ad	1,30 Bb

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Os briquetes produzidos com APG, farinha de babaçu, dextrina e alcatrão vegetal não apresentaram diferenças significativas nos teores de cinzas em função das proporções do aglutinante (Tabela 11). Essa relação não foi observada para os briquetes confeccionados com silicato de sódio, sendo que estes apresentaram os maiores teores de cinza. Tal ocorrência é devida à presença de sílica, um dos constituintes do aglutinante de silicato de sódio, que aparece como resíduo do processo de degradação do material pelo calor. Pereira (2007), estudando as propriedades de briquetes de carvão vegetal aglutinados com silicato de sódio, também observou que, aumentando as

porcentagens de aglutinante na formulação dos briquetes, aumentou-se também os teores de cinzas.

TABELA 11 – Valores médios dos teores de cinzas (%) dos briquetes, em função do tipo e teor de aglutinante.

Aglutinantes	Teor de aglutinante (%)		
	15	25	35
APG	1,48 Ac	1,46 Acd	1,36 Ad
Babaçu	2,65 Ab	2,52 Ab	2,60 Ab
Dextrina	1,66 Ac	1,88 Ac	1,98 Ac
Silicato	17,03 Ca	23,65 Ba	29,07 Aa
Alcatrão*	1,30 Ac	1,23 Ad	1,14 Ad

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

*Teor de aglutinante igual a 70, 80 e 90%

De modo geral, os menores teores de cinzas foram obtidos para os briquetes produzidos com alcatrão. Ressalta-se que quanto maior o teor de cinzas, menor o poder calorífico e carbono fixo dos briquetes. Observa-se, na Tabela 12, o efeito de aglutinantes e frações dos finos de carvão vegetal sobre os diferentes teores de cinzas.

TABELA 12 – Valores médios dos teores de cinzas (%) dos briquetes, em função do teor de aglutinante (%) e da fração de finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh)

Fração retida na peneira (mesh)	Teor de aglutinante (%)*		
	15	25	35
20	3,94 Cbc	5,44 Bb	6,69 Ab
35	3,56 Cc	4,68 Bc	6,26 Ac
60	7,48 Ca	8,85 Ba	9,25 Aa
Mista	4,31 Cb	5,63 Bb	6,72 Ab

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

*Para o alcatrão vegetal utilizou-se diferente teores de aglutinantes 70, 80 e 90%.

De modo geral, aumentando-se a quantidade de aglutinante na formulação dos briquetes, ocorreu um aumento dos seus teores de cinzas. Provavelmente isso foi causado pela presença de componentes minerais dos aglutinantes. Verifica-se também que os menores e maiores teores de cinzas foram obtidos nos briquetes produzidos com as partículas retidas na peneira de 35 e 60 mesh, respectivamente.

4.4. Carbono Fixo

O carbono fixo dos briquetes foi afetado pela fração dos finos de carvão, tipo e teores dos aglutinantes. A Tabela 13 mostra o efeito das frações dos finos retidas nas peneiras bem como o tipo de aglutinante, nos valores médios de carbono fixo dos briquetes. Para aqueles produzidos com aglutinantes amiláceos, observou-se que quanto menores as frações, menor o teor de carbono fixo dos briquetes. Já aqueles produzidos com o aglutinante alcatrão vegetal e os finos retidos nas peneiras de 35 mesh e mista obtiveram os maiores valores de carbono fixo. Entretanto, Melo (2000) observou que os maiores valores para carbono fixo foram encontrados em briquetes produzidos com 50% de alcatrão e a fração de 60 mesh.

Nota-se, também, que os briquetes aglutinados com silicato de sódio apresentaram os menores valores de carbono fixo, devido a sua natureza inorgânica. Os briquetes com alcatrão vegetal apresentaram os maiores teores de carbono fixo, dentre os demais aglutinantes estudados.

TABELA 13 – Valores médios do carbono fixo (%) dos briquetes, em função da fração dos finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh) e do tipo de aglutinante.

Aglutinantes	Fração retida na peneira (mesh)			
	20	35	60	Mista
APG	58,21 Ad	55,78 Bc	53,56 Dc	55,18 Cc
Babaçu	59,44 Ac	57,01 Bc	53,28 Cc	56,10 Bc
Dextrina	61,10 Ab	59,26 Bb	58,31 Bb	59,04 Bb
Silicato	51,25 Ae	50,46 Ad	46,41 Bd	50,62 Ad
Alcatrão	69,38 Ba	70,77 Aa	68,47 Ca	70,42 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

O aumento dos teores dos aglutinantes contribuiu com a redução do teor de carbono fixo dos briquetes, a exceção daqueles produzidos com alcatrão vegetal, conforme pode ser observado na Tabela 14. Isso se deve aos baixos valores de carbono fixo dos aglutinantes amiláceos, evidenciados pela Tabela 3, bem como do aglutinante inorgânico silicato de sódio.

Os briquetes produzidos com 90% de alcatrão vegetal apresentaram os maiores teores de carbono fixo em relação aos demais. Isso já era esperado, uma vez que na composição química do alcatrão têm-se altos teores de compostos fenólicos. Ressalta-se também que as porcentagens de carbono fixo encontradas viabilizam seu emprego como termorreduzidor no setor siderúrgico, que exige teores acima de 70%. Brito e Nucci (1984) afirmam que a quantidade de alcatrão vegetal na composição dos briquetes é um dos principais fatores que influenciam em sua qualidade e que, de acordo com seus estudos, resultados satisfatórios foram obtidos com 40 g de alcatrão de babaçu e 1,5 g de cal hidratada para cada 100 g de finos de carvão.

TABELA 14 – Valores médios do carbono fixo (%) dos briquetes, em função do tipo e teor de aglutinante.

Aglutinantes	Teor de aglutinante (%)		
	15	25	35
APG	59,64 Ac	56,12 Bc	51,28 Cd
Babaçu	61,05 Ac	55,39 Bc	52,92 Cc
Dextrina	62,85 Ab	59,26 Bb	56,17 Cb
Silicato	55,27 Ad	49,39 Bd	44,40 Ce
Alcatrão*	69,60 Ba	69,16 Ca	70,52 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

*Teor de aglutinante igual a 70, 80 e 90%

Considerando o efeito das frações dos finos de carvão vegetal e o teor de aglutinante, observa-se que os briquetes confeccionados com maiores proporções do aglutinante resultaram em menores valores de carbono fixo, conforme pode ser observado na Tabela 15, com exceção daqueles produzidos com alcatrão vegetal. Verificou-se também que o carbono fixo é uma função inversa dos valores encontrados

para os materiais voláteis e teor de cinzas. Os briquetes confeccionados com alcatrão vegetal apresentaram altos valores de carbono fixo e baixos teores de materiais voláteis e cinzas (Tabelas 13 e 14). Quirino (1991), estudando as características e o índice de combustão de briquetes de carvão vegetal, também constatou, estatisticamente, que o teor de cinzas mostrou maiores índices de correlação linear com o teor de carbono fixo e com o poder calorífico, sendo ambas as correlações inversas. O autor explica que a cinza é um material de origem mineral, não-orgânico, inerte e não-combustível. O teor de carbono fixo e o poder calorífico dependem principalmente da quantidade de carbono ou material orgânico presente no combustível.

Observou-se também que os briquetes produzidos com as frações retidas na peneira 20 mesh apresentaram os maiores valores de carbono fixo em todas as proporções dos aglutinantes testadas. Já os briquetes produzidos com as frações retidas na peneira de 60 mesh apresentaram os menores valores médios de carbono fixo, diferindo dos demais.

TABELA 15 – Valores médios do carbono fixo (%) dos briquetes, em função da fração de finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh) e pelo teor de aglutinante (%)

Fração retida na peneira (mesh)	Teor de aglutinante (%)*		
	15	25	35
20	64,48 Aa	59,23 Ba	55,91 Ca
35	62,00 Ab	58,61 Ba	55,36 Cb
60	58,57 Ac	55,42 Bb	54,02 Cb
Mista	61,68 Ab	58,20 Ba	54,94 Cb

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

*Para o alcatrão vegetal utilizou-se diferente teores de aglutinantes 70, 80 e 90%.

4.5. Umidade de equilíbrio higroscópico

Na Tabela 16 observa-se o efeito das frações dos finos de carvão vegetal e do tipo de aglutinante na umidade de equilíbrio higroscópico. A umidade dos briquetes

produzidos com o aglutinante a base de dextrina não diferiu significativamente entre si, exceto aqueles produzidos com a fração mista.

Na Tabela 16, observa-se de modo geral, que a menor umidade de equilíbrio higroscópico dos briquetes foi obtida naqueles produzidos com os finos retidos na peneira de 60 mesh e a composição mista de finos, aglutinados com alcatrão vegetal. A destilação deste aglutinante, a alta temperatura de secagem utilizada para a cura, aliados à sua baixa higroscopicidade, contribuíram para a diminuição dos teores de umidade.

TABELA 16 – Valores médios de umidade de equilíbrio higroscópico (%) dos briquetes, em função fração de finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh) e do tipo de aglutinante

Aglutinantes	Fração retida na peneira (mesh)			
	20	35	60	Mista
APG	8,51 ABb	8,21Bb	7,97 Bb	9,05 Ab
Babaçu	8,54 Ab	8,33 Ab	8,46 Ab	8,69 Ab
Dextrina	7,96 Ab	7,92 Ab	8,17 Ab	7,07 Bc
Silicato	13,42 Aa	11,80 Ba	11,13 Ca	11,31BCa
Alcatrão	4,06 Ac	4,26 Ac	3,71 Ac	3,80 Ad

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Verifica-se, na Tabela 17, que, à medida que se aumentou a quantidade de aglutinantes aos finos de carvão vegetal, ocorreu um aumento no teor de umidade dos briquetes. Isto se deve à maior higroscopicidade dos aglutinantes em relação aos finos de carvão, conforme pode ser observada Tabela 3. Verifica-se que, independentemente das frações, os briquetes produzidos com silicato de sódio foram significativamente mais higroscópicos que os demais.

TABELA 17 – Valores médios de umidade de equilíbrio higroscópico (%) dos briquetes, em função do tipo e teor de aglutinante.

Aglutinantes	Teor de aglutinante (%)		
	15	25	35
APG	8,20 Bb	8,40 ABbc	8,70 Ac
Babaçu	7,56 Cc	8,64 Bb	9,32 Ab
Dextrina	7,00 Bd	7,98 Ac	8,36 Ac
Silicato	9,93 Ca	12,25 Ba	13,56 Aa
Alcatrão*	3,90 ABe	3,73 Bd	4,24 Ad

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

*Teor de aglutinante igual a 70, 80 e 90%

Na Tabela 18, verifica-se que o aumento no teor de aglutinante acarretou aumento dos teores de umidade dos briquetes. Observa-se, também, que os briquetes produzidos com partículas retidas na peneira de 60 mesh apresentaram os menores teores de umidade. Isto, provavelmente, se deve à sua maior compactação, ou seja, à maior proximidade entre as partículas e, conseqüentemente, à menor quantidade de espaços vazios, dificultando a absorção de água em função de uma menor área específica em contato com o meio. Ressalta-se que esses briquetes obtiveram os maiores valores de densidade em função da sua maior compactação (Tabela 19).

TABELA 18 – Valores médios de umidade de equilíbrio higroscópico (%) dos briquetes em função da fração dos finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh) e do teor de aglutinante (%)

Fração retida na peneira (mesh)	Teor de aglutinante (%)*		
	15	25	35
20	7,55 Ca	8,38 Ba	9,56 Aa
35	7,46 Ca	8,04 Ba	8,81 Ab
60	6,95 Bb	8,33 Aa	8,39 Ab
Mista	7,30 Cab	8,06 Ba	8,59 Ab

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

*Para o alcatrão vegetal utilizou-se diferente teores de aglutinantes 70, 80 e 90%.

4.6. Densidade aparente

Na Tabela 19 são apresentados os valores médios da densidade aparente dos briquetes em função do tipo de aglutinante e das frações dos finos de carvão vegetal.

TABELA 19 – Valores médios da densidade aparente (g/cm^3) dos briquetes, em função da fração de finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh) e do tipo de aglutinante.

Aglutinantes	Fração retida na peneira (mesh)			
	20	35	60	Mista
APG	0,57 Bb	0,54 Db	0,61 Aa	0,55 Cb
Babaçu	0,43 Be	0,42 Be	0,47 Ad	0,42 Be
Dextrina	0,52 Bc	0,50 Cc	0,57 Ab	0,53 Bc
Silicato	0,59 Ba	0,56 Ca	0,62 Aa	0,59 Ba
Alcatrão	0,50 Bd	0,47 Cd	0,52 Ac	0,50 Bd

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

A densidade aparente dos briquetes foi afetada pelo tipo e teor de aglutinante bem como pela fração dos finos de carvão. Observa-se que os briquetes mais densos foram aqueles fabricados com os finos que ficaram retidas na peneira de 60 mesh. Possivelmente isto se deve à sua melhor compactação, o que acarretou redução no volume do briquete para uma mesma massa, além da densidade deste aglutinante ser maior em relação aos demais.

Os briquetes aglutinados com silicato de sódio apresentaram os maiores valores médios de densidades, independentemente da fração dos finos de carvão, entretanto, verifica-se que os briquetes produzidos com farinha de babaçu obtiveram, de forma significativa, os menores valores de densidade aparente em relação aos demais. Ressalta-se que durante a produção destes briquetes, a massa de finos mais aglutinante ofereceu dificuldade de compactação em função da baixa densidade do aglutinante, o que elevou o volume do briquete, ocasionado redução da densidade.

De modo geral, o aumento no teor de aglutinante, conforme pode ser observado na Tabela 20, ocasionou aumento também na densidade aparente dos briquetes. Nota-se

que os briquetes produzidos com farinha de babaçu apresentaram as menores densidades em relação aos demais. Provavelmente, isso ocorreu devido à baixa porcentagem de amido, em torno de 60%, na composição deste aglutinante, atenuando suas propriedades ligantes e, conseqüentemente, reduzindo a aderência entre as partículas de carvão. Além disso, a farinha de babaçu possui densidade específica em torno de 1,06 g/cm³, inferior aos demais aglutinantes como o silicato de sódio e APG, com densidade específica iguais a 1,6 g/cm³ e 0,5 g/cm³, respectivamente.

TABELA 20 – Valores médios da densidade aparente (g/cm³) dos briquetes, em função do tipo e teor de aglutinante (%)

Aglutinantes	Teor de aglutinante (%)		
	15	25	35
APG	0,51 Ca	0,57 Bb	0,63 Ab
Babaçu	0,43 Cc	0,44 Be	0,45 Ae
Dextrina	0,48 Cb	0,53 Bc	0,58 Ac
Silicato	0,50 Ca	0,60 Ba	0,67 Aa
Alcatrão*	0,49 Bb	0,50 Ad	0,50 Ad

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

*Teor de aglutinante igual a 70, 80 e 90%

Observa-se na Tabela 21 que, independentemente das frações dos finos utilizados na produção dos briquetes, à medida que se aumenta o teor de aglutinante, aumenta-se também a densidade aparente dos briquetes.

TABELA 21 – Valores médios da densidade aparente (g/cm³) dos briquetes, em função da fração de finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh) e do teor de aglutinante (%)

Fração retida na peneira (mesh)	Teor de aglutinante (%)*		
	15	25	35
20	0,47 Cb	0,52 Bb	0,56 Ab
35	0,45 Cc	0,50 Bc	0,54 Ac
60	0,52 Ca	0,55 Ba	0,60 Aa
Mista	0,47 Cb	0,52 Bb	0,56 Ab

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

*Para o alcatrão vegetal utilizou-se diferentes teores de aglutinantes 70, 80 e 90%.

Menores frações de carvão vegetal possuem maior superfície específica e, em contato com aglutinantes, possibilitam melhor adesão entre os finos, maior compactação e, conseqüentemente, maior densidade. Isso pode ser observado nos briquetes produzidos com a fração de 60 mesh, os quais obtiveram, significativamente, os maiores valores de densidade aparente, diferindo dos demais.

4.7. Teste de Tamboramento

Na Tabela A7 do Apêndice, são apresentados os valores obtidos no teste de tamboramento, no qual se observa a classificação dos briquetes quanto à friabilidade. A Tabela 22 evidencia os valores médios obtidos no teste de tamboramento para os briquetes em função do tipo de aglutinante e da fração dos finos retida nas peneiras de 20, 35, 60 mesh e a fração mista.

Observa-se que, para os briquetes produzidos com APG e babaçu, não houve efeito das frações dos finos na friabilidade dos briquetes, exceto para os briquetes de babaçu na fração de 60 mesh. Os briquetes produzidos com os finos retidos na peneira de 20 mesh e alcatrão vegetal apresentaram maior friabilidade, entretanto, vale ressaltar que não houve diferença significativa entre estes briquetes e aqueles produzidos com os finos de carvão retidos na peneira de 20 e 35 mesh e o aglutinante farinha de babaçu.

Nota-se que os briquetes se apresentaram menos friáveis à medida que se aumentou o teor de aglutinante na mistura, exceto para aqueles produzidos com alcatrão vegetal. Este resultado era esperado uma vez que maiores quantidades dos aglutinantes propiciam maior agregação entre as partículas e, conseqüentemente, maior resistência ao choque.

TABELA 22 – Valores médios do potencial de finos gerados no teste de tamboramento (%) dos briquetes, em função do tipo de aglutinante e da fração de finos de carvão vegetal retida nas peneiras (mesh).

Aglutinantes	Fração retida nas peneiras (mesh)			
	20	35	60	Mista
APG	14,89 Ad	13,88 Ac	14,89 Ab	15,83 Ac
Babaçu	44,96 Aab	46,59 Aa	34,08 Ba	45,83 Aa
Dextrina	27,13 ABc	33,40 Ab	14,31 Cb	22,45 BCc
Silicato	38,06 Bb	47,72 Aa	43,15 ABa	34,74 Bb
Alcatrão	51,03 Aa	46,07 Aa	18,07 Cb	32,17 Bb

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Observou-se que a friabilidade tem correlação positiva com a densidade aparente, pois os briquetes mais densos foram também os menos friáveis. Isso deve, principalmente, ao aumento do teor de aglutinante, que elevou a densidade e, conseqüentemente, reduziu a geração de finos.

Na Tabela 23 verifica-se que os briquetes produzidos com 15% de silicato de sódio foram os mais friáveis quando se analisa o efeito do teor de aglutinante. No entanto, ressalta-se que, com 35% deste aglutinante, os briquetes se tornaram mais resistentes, evidenciando a quantidade mínima de aglutinante para obter resistência.

TABELA 23 – Valores médios do potencial de finos gerados no teste de tamboramento (%) dos briquetes, em função do tipo e teor de aglutinante (%)

Aglutinantes	Teor de aglutinante (%)		
	15	25	35
APG	23,50 Ad	15,05 Bc	6,07 Cb
Babaçu	50,80 Ab	39,09 Ba	38,72 Ba
Dextrina	35,81 Ac	23,76 Bb	13,39 Cb
Silicato	79,39 Aa	32,73 Ba	10,64 Cb
Alcatrão*	39,92 Ac	36,87 Aa	33,71 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

*Teor de aglutinante igual a 70, 80 e 90%

Ainda na Tabela 23 verifica-se que os briquetes produzidos com 25% de farinha de babaçu não apresentaram diferenças significativas em relação àqueles produzidos com 25% de silicato de sódio e 80% de alcatrão, assim como em relação àqueles briquetes produzidos com 35% de farinha de babaçu e 90% de alcatrão vegetal. Era esperado que os briquetes confeccionados com farinha de babaçu apresentassem menor resistência ao choque e, conseqüentemente, maior geração de finos, devido às características deste aglutinante, em que são observadas porcentagens de amido em torno de 60% .

De acordo com a Tabela 24, verificou-se que, independentemente das frações dos finos de carvão vegetal, os briquetes com 15% de aglutinantes foram os mais friáveis. Segundo a classificação do Cetec, descrita por Oliveira (1992), de modo geral, esses briquetes são definidos como muito friáveis, uma vez que apresentam uma porcentagem de finos acima de 30%. O emprego de maiores quantidades de aglutinantes propiciou briquetes mais compactos e com maior adesão entre as partículas. Observa-se também que a redução das frações do carvão vegetal foi acompanhada de menor geração de finos.

TABELA 24 – Valores médios do potencial de finos gerados no teste de tamboramento (%) dos briquetes, em função do teor de aglutinante (%) e da fração retida nas peneiras (mesh)

Fração retida nas peneiras (mesh)	Teor de aglutinante (%)*		
	15	25	35
20	50,08 Aab	30,62 Ba	24,95 Ba
35	54,91 Aa	32,52 Ba	25,17 Ca
60	34,16 Ac	28,56 Aa	11,99 Bb
Mista	44,39 Ab	26,31 Ba	19,91 Ca

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

*Para o alcatrão vegetal utilizou-se diferente teores de aglutinantes 70, 80 e 90%

Os briquetes menos friáveis foram produzidos com as frações de 60 mesh e 35% de aglutinante. Este fato era esperado, pois o aumento da área de contato entre os finos,

aliado às maiores quantidades do aglutinante, propiciou maior adesão e a compactação desses briquetes.

5. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo demonstraram a viabilidade do uso dos briquetes como fonte de energia e aproveitamento de resíduos de carvão vegetal.

Os briquetes confeccionados com os aglutinantes amiláceos são adequados para o uso doméstico e comercial, tais como churrasqueiras, fornos de pizzarias e restaurantes, lareiras, caldeiras e outros, uma vez que apresentaram valores médios de poder calorífico em torno de 6500 kcal/kg. Entretanto, estes aglutinantes apresentaram valores expressivos de materiais voláteis, o que poderá se refletir no aumento da emissão de fumaça durante seu uso.

Durante o teste de tamboramento, esperou-se que os briquetes apresentassem baixa geração de finos e, conseqüentemente, alta resistência mecânica. Essas características se refletem diretamente na facilidade e otimização do transporte, armazenamento e manuseio. Dentre os briquetes produzidos com os aglutinantes amiláceos, aqueles com farinha de babaçu foram os mais friáveis devido a baixa densidade destes briquetes.

A utilização dos briquetes produzidos com silicato de sódio poderá ser comprometida devido aos elevados teores de cinzas, tornando necessárias limpezas mais frequentes em fornalhas ou churrasqueiras. Além disso, o emprego de briquetes

confeccionados com o aglutinante silicato de sódio em alto-fornos poderá afetar a qualidade do ferro-gusa produzido.

Os briquetes confeccionados com alcatrão vegetal apresentaram valores de poder calorífico superiores a 7200 kcal/kg e carbono fixo em torno de 70%. Entretanto, houve uma considerável geração de finos de carvão vegetal, em torno de 35%, o que limita alguns de seus usos como, por exemplo, ser empregado dentro dos alto-fornos para redução do minério de ferro, onde há possibilidade de compactação das camadas, evitando-se assim a convecção dos gases.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT

ADESIVOS E SELANTES. Disponível em:

<http://www.adesivoseselantes.com.br/edicao19_dextrina.asp>. Acesso: 20 de mar. de 2009.

AMS – ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. **Anuário Estatístico AMS.** – Belo Horizonte: ABRIL, 2009.

ANTUNES, R. C. Briquetagem de carvão vegetal. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS/CETEC. **Carvão Vegetal: destilação, propriedades e controle de qualidade.** Belo Horizonte, v.1, p.197-206, 1982.

BEZZON, G. **Síntese de novos combustíveis sólidos a partir de resíduos agrofloretais e possíveis contribuições no cenário energético brasileiro.** 1994. 115p.. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos). Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. São Paulo, 1994.

BEZZON, G. Métodos de compactação de biomassa. In: **Tecnologia de Conversão Energética da Biomassa.** Manaus: EDUA/EFEL, 1997, p.39-57.

BRITO, J.O.; NUCCI, O. Estudo tecnológico da madeira de *Pinus* spp para a produção de carvão vegetal e briquetagem. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas Estado de São Paulo – IPEF**, n. 26, p.25-30, São Paulo, abr.1984

CARVALHO, A. Vale vai gerar empregos com briquetagem de finos. *Jornal Pequeno*. 2006. Acesso: 28 de junho de 2009. Disponível em : <
<http://www.jornalpequeno.com.br/2006/12/6/Pagina46780.htm>>.

CARVALHO, E. A.; BRINCK, V. **Briquetagem**. Rio de Janeiro. Comunicação Técnica elaborada para a 4ª Edição do Livro de Tratamento de Minérios, dez 2004, cap. 15, p. 613 a 636.

CECCHI, H. M. **Fundamentos Teóricos e Práticos em Análises de Alimentos**. 2º ed. Editora da UNICAMP, Campinas, SP, 2003, 208p..

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. S. **Tecnologias de Conversão Energética de Biomassa**. 1º ed. Manaus, AM: Editora da Universidade do Amazonas, 1997. 527 p.

COUTO, L.; MÜLLER, M. D.; JÚNIOR, A. G. S.; CONDE, L. J. N. **Produção de pellets de madeira-o caso de Bio Energy no Espírito Santo**. *Biomassa & Energia*. Vol 1, Nº 1, p. 45-52. 2004.

CRUZ, F. M. **Propriedades de briquetes fabricados com finos de carvão de *Eucalyptus sp.* e *Schizolobium amazonicum* (paricá)**. 2008. 44 f.. Monografia (Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

CUNHA, A. F. **Caracterização, Beneficiamento e Reciclagem de Carepas Geradas em Processos Siderúrgicos**. 2006. 111 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - REDEMAT - REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS (UFOP – CETEC – UEMG), Ouro Preto, MG, 2006.

EGREJA, C. M. **Produção de adesivos fenólicos a partir de creosoto vegetal desmetilado**. 1999. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FILIPPETTO, D. **Briquetagem de resíduos vegetais: viabilidade técnico-econômica de mercado**. 2008. 61p.. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos). Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. São Paulo, 2008.

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. p. 1-14.

GÓMEZ, E. O. **Estudo da Pirólise Rápida de Capim Elefante em Leito Fluidizado Borbulhante mediante a Caracterização dos Finos de Carvão**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP. São Paulo, 2002.

GENTIL, L.V.B. **Tecnologia e Economia do Briquete de Madeira**. 2008. 195 f.. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade de Brasília – UnB. Brasília - DF, 2008.

INTERNATIONAL STARCH INSTITUTE. Disponível em:
<<http://www.starch.dk/isi/starch/glossary.asp#DEF>>. Acesso: 20 de mar. de 2009.

ÍNEOS SÍLICAS. Silicatos solúveis e suas aplicações. Disponível em: <http://www.ineossilicas.com/downloads/Soluble%20Silicates%20Brochure%20-%20Brazilian.pdf>>. Acesso em: 2 de fev. de 2009.

LIMA, W. P.; **Impacto Ambiental do Eucalipto**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1996. 301p..

LUCENA, D. A.; MEDEIROS, R. D.; FONSECA, U. T.; ASSIS, P. S. Aglomeração de moinha de carvão vegetal e sua possível aplicação em alto-forno e geração de energia. **Tecnologia em Metalurgia e Materiais**, vol.4, n.4, p. 1-6, São Paulo, abr-jun de 2008.

LUENDO, C. A.; FELFLI, F. E. F.; BEZZON, G. Pirólise e torrefação de biomassa. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. S. **Tecnologias de Conversão Energética de Biomassa**. 1 ed. Manaus, AM: Editora da Universidade do Amazonas, 1997. Cap. X. 527 p.

MELO, V. P. S.; **Produção de Briquetes de Carvão Vegetal com Alcatrão de Madeira**. Viçosa. Junho, 2000. 53 f.. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MORO, J.P.; **Briquetagem de finos de carvão vegetal**. In: ANAIS DE 2ª JORNADA DE ENGENHARIA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA. 1987, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1987, v.1. p.1-14.

OLIVEIRA, J.B.de; VIVACQUA FILHO, A.; MENDES, M.G. & GOMES, P. A. Produção de carvão vegetal - aspectos técnicos. In: PENEDO, W.R. **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte, MG, CETEC-Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.59-73,1982.

PEREIRA, F. A. **Estudo das propriedades de briquetes utilizando como aglutinante o adesivo de silicato de sódio**. 2007. 31 f.. Monografia (Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

PINHEIRO, P. C. C.; SAMPAIO. 2001. **Fornos de carbonização utilizados no Brasil**. In: Primeiro Congresso Internacional de Uso da Biomassa Plantada para Produção de Metais Geração de Eletricidade. Belo Horizonte – MG. Versão em CD – ROM.

PORTO, M. J. F. **Estudo Preliminar de Dispositivo de Quebra e Caracterização dos Parâmetros Físicos do Coco Babaçu**. 2004. 75 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) – Universidade de Campinas, Campinas.

QUIRINO, W. F. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Piracicaba, 1991. 64f.. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

QUIRINO, W.F. **Briquetagem de resíduos ligno-celulósicos**. s.d. Disponível em:
<www.ibama.gov.br/lpf/indexhome.php?Pagina=pesquisa.php>. Acesso: 19 abril 2008

SALEME, J. E. F. **Estudo básico para briquetagem do carvão vegetal**. Ouro Preto, Escola de Minas e Metalurgia, s.d. 19 p.

SHREVE, R. N.; BRINK, J. A. Jr. **Indústrias de Processos Químicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 717 p.

SILVA, A. P. **Produção de briquetes dos carvões de casca, maravalha e serragem de eucalipto (*Eucalyptus pellita*), pirolisados às temperaturas máximas de 400 °C e 600 °C**, 2007. 24f.. Monografia (engenharia Florestal). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Instituto de Florestas – IF, Seropédica, RJ, 2007.

SLOW FOOD BRASIL. Disponível em:
<<http://www.slowfoodbrasil.com/content/view/47/59/>>. Acesso: 16 de abril de 2009.

VANTAGENS - BIOENERGIA NATAL. Disponível em:
<http://www.bioenergianat++al.com.br/vantagens_carvao.php>. Acesso: 15 de set. de 2009.

ANEXOS

TABELA 1 - Resumo da análise de variância para a densidade (g/cm³)

Fontes de Variação	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	239	1.286217			
Total de Redução	35	1.268139	0.3623254E-01	408.86	0.0000
Trat	4	0.6984501	0.1746125	1970.38	0.0000
Fração retida	3	0.1143834	0.3812779E-01	430.24	0.0000
Aglut	12	0.9617408E-	0.8014507E-03	9.04	0.0000
Trat* Fração retida	2	0.2915547	0.1457773	1644.99	0.0000
Trat* Aglut	8	0.1512421	0.1890526E-01	213.33	0.0000
Moinha* Aglut	6	0.2891342E-	0.4818903E-03	5.44	0.0000
Resíduo	204	0.1807824E-	0.8861883E-04		

TABELA 2 - Resumo da análise de variância para poder calorífico (kcal/kg)

Fontes de Variação	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	119	0.5471090E+08			
Total de Redução	35	0.5392848E+08	1540814.	165.42	0.0000
Trat	4	0.4514999E+08	0.1128750E+08	1211.82	0.0000
Fração retida	3	2341551.	780517.1	83.80	0.0000
Aglut	2	3523379.	1761690.	189.13	0.0000
Trat* Fração retida	12	913375.3	76114.60	8.17	0.0000
Trat* Aglut	8	1952725.	244090.6	26.21	0.0000
Moinha* Aglut	6	47457.00	7909.500	0.85	*****
Resíduo	84	782420.9	9314.534		

TABELA 3 - Resumo da análise de variância para os materiais voláteis (%)

Fontes de Variação	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	239	12250.20			
Total de Redução	35	11746.44	335.6125	135.91	0.0000
Trat	4	9969.244	2492.311	1009.26	0.0000
Fração retida	3	107.8108	35.93694	14.55	0.0000
Aglut	2	719.3932	359.6966	145.66	0.0000
Trat* Fração retida	12	123.2654	10.27212	4.16	0.0000
Trat* Aglut	8	774.0407	96.75508	39.18	0.0000
Moinha* Aglut	6	52.68422	8.780703	3.56	0.0023
Resíduo	204	503.7647	2.469435		

TABELA 4 - Resumo da análise de variância para os teores de cinzas (%)

Fontes de Variação	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	239	19608.24			
Total de Redução	35	19557.58	558.7881	2250.22	0.0000
Trat	4	17768.07	4442.018	*****	0.0000
Fração retida	3	499.7715	166.5905	670.85	0.0000
Aglut	2	232.2660	116.1330	467.66	0.0000
Trat* Fração retida	12	116.0541	9.671175	38.95	0.0000
Trat*Aglut	8	932.0732	116.5092	469.18	0.0000
Moinha* Aglut	6	9.347388	1.557898	6.27	0.0000
Resíduo	204	50.65848	0.2483259		

TABELA 5 - Resumo da análise de variância para o carbono fixo (%)

Fontes de Variação	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	239	14070.34			
Total de Redução	35	13581.56	388.0445	161.96	0.0000
Trat	4	10417.87	2604.468	1087.02	0.0000
Fração retida	3	470.5063	156.8354	65.46	0.0000
Aglut	2	1768.530	884.2650	369.06	0.0000
Trat* Fração retida	12	162.5660	13.54717	5.65	0.0000
Trat*Aglut	8	671.4443	83.93054	35.03	0.0000
Moinha* Aglut	6	90.63956	15.10659	6.30	0.0000
Resíduo	204	488.7789	2.395975		

TABELA 6 - Resumo da análise de variância para a umidade (%)

Fontes de Variação	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	239	1818.380			
Total de Redução	35	1761.396	50.32559	180.16	0.0000
Trat	4	1540.152	385.0380	1378.40	0.0000
Fração retida	3	12.77672	4.258908	15.25	0.0000
Aglut	2	93.56505	46.78252	167.48	0.0000
Trat* Fração retida	12	45.76261	3.813551	13.65	0.0000
Trat*Aglut	8	60.22440	7.528050	26.95	0.0000
Moinha* Aglut	6	8.914910	1.485818	5.32	0.0001
Resíduo	204	56.98485	0.2793375		

TABELA 7 - Resumo da análise de variância para o teste de friabilidade (%)

Fontes de Variação	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	119	47676.96			
Total de Redução	35	44873.76	1282.107	38.42	0.0000
Trat	4	13759.67	3439.918	103.08	0.0000
Fração retida	3	2837.004	945.6680	28.34	0.0000
Aglut	2	13245.41	6622.706	198.45	0.0000
Trat* Fração retida	12	3513.997	292.8330	8.77	0.0000
Trat*Aglut	8	10607.90	1325.988	39.73	0.0000
Moinha* Aglut	6	909.7775	151.6296	4.54	0.0005
Resíduo	84	2803.199	33.37142		

TABELA 8 – Classificação dos finos dos briquetes de carvão vegetal produzidos durante o teste de friabilidade

Tratamento	Moinha	Adesivo (%)	Finos (%)	Classificação
Amido	20	15	25,38868	Bastante Friável
Amido	20	25	12,30279	Pouco Friável
Amido	20	35	6,991106	Muito Pouco Friável
Amido	35	15	27,8842	Bastante Friável
Amido	35	25	7,46502	Muito Pouco Friável
Amido	35	35	6,295765	Muito Pouco Friável
Amido	60	15	13,05335	Pouco Friável
Amido	60	25	29,12624	Bastante Friável
Amido	60	35	2,490092	Muito Pouco Friável
Amido	mista	15	27,67198	Bastante Friável
Amido	mista	25	11,29729	Pouco Friável
Amido	mista	35	8,514254	Muito Pouco Friável
Babaçu	20	15	53,23527	Muito Friável
Babaçu	20	25	38,10925	Muito Friável
Babaçu	20	35	43,54401	Muito Friável
Babaçu	35	15	54,50818	Muito Friável
Babaçu	35	25	46,20016	Muito Friável
Babaçu	35	35	39,05274	Muito Friável
Babaçu	60	15	41,91869	Muito Friável
Babaçu	60	25	29,58201	Bastante Friável
Babaçu	60	35	30,75411	Muito Friável
Babaçu	mista	15	53,52504	Muito Friável

Continua...

Tratamento	Moinha	Adesivo (%)	Finos (%)	Classificação
Babaçu	mista	25	42,45642	Muito Friável
Babaçu	mista	35	41,51537	Muito Friável
Dextrina	20	15	37,92185	Muito Friável
Dextrina	20	25	29,47949	Bastante Friável
Dextrina	20	35	13,98115	Pouco Friável
Dextrina	35	15	46,33386	Muito Friável
Dextrina	35	25	29,04268	Bastante Friável
Dextrina	35	35	24,82667	Friabilidade Média
Dextrina	60	15	25,81665	Bastante Friável
Dextrina	60	25	12,14226	Pouco Friável
Dextrina	60	35	4,959041	Muito Pouco Friável
Dextrina	mista	15	33,16867	Muito Friável
Dextrina	mista	25	24,37179	Friabilidade Média
Dextrina	mista	35	9,803621	Muito Pouco Friável
Silicato	20	15	80,12799	Muito Friável
Silicato	20	25	20,47323	Friabilidade Média
Silicato	20	35	13,58796	Pouco Friável
Silicato	35	15	94,69371	Muito Friável
Silicato	35	25	37,77407	Muito Friável
Silicato	35	35	10,69049	Pouco Friável
Silicato	60	15	71,18973	Muito Friável
Silicato	60	25	48,61496	Muito Friável
Silicato	60	35	9,656465	Muito Pouco Friável
Silicato	mista	15	71,55986	Muito Friável
Silicato	mista	25	24,05967	Friabilidade Média
Silicato	mista	35	8,609523	Muito Pouco Friável
Alcatrão	20	70	53,72393	Muito Friável
Alcatrão	20	80	52,72663	Muito Friável
Alcatrão	20	90	46,64621	Muito Friável
Alcatrão	35	70	51,13438	Muito Friável
Alcatrão	35	80	42,09817	Muito Friável
Alcatrão	35	90	44,98769	Muito Friável
Alcatrão	60	70	18,80703	Friabilidade Média
Alcatrão	60	80	23,3234	Friabilidade Média
Alcatrão	60	90	12,08392	Pouco Friável
Alcatrão	mista	70	36,02242	Muito Friável
Alcatrão	mista	80	29,34647	Bastante Friável
Alcatrão	mista	90	31,12782	Muito Friável