

MINISTÉRIO DO INTERIOR  
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS  
DIRETORIA DE INCENTIVO À PESQUISA E DIVULGAÇÃO  
LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS

LPF - SÉRIE TÉCNICA Nº 1

# ASPECTOS TÉCNICOS DA BRIQUETAGEM DO CARVÃO VEGETAL NO BRASIL

**Autores:** Paulo J. Prudente de  
fontes\*;  
Waldir Ferreira Quirino\*\*;  
Esmeralda Y. A. Okino\*\*\*.

**Brasília, 1989**

\*Engenheiro Florestal – pesquisador do LPF/IBAMA, bolsista do CNPq.

\*\* Engenheiro Florestal – pesquisador do LPF/DIRPED/IBAMA, bolsista do CNPq.

\*\*\* Engenheira Química – pesquisadora do LPF/DIRPED/IBAMA, bolsista do CNPq.

## RESUMO

Através do processo de briquetagem do carvão vegetal, ou seja, técnica que envolve balanceamento granulométrico, mistura proporcional de aglomerante, compactação e secagem, consegue-se obter um combustível com melhor densidade, maior resistência mecânica, baixa geração de finos e granulometria uniforme, eliminando-se alguns inconvenientes do carvão quanto ao manuseio, transporte, estocagem e utilização.

Apesar de processo bastante conhecido no exterior, no Brasil a briquetagem do carvão vegetal resume-se em experiências e atividades pioneiras e isoladas de empresas siderúrgicas e pequenos produtores. Este trabalho apresenta os resultados de algumas destas experiências realizadas no país, bem como os dados da pesquisa que vem sendo desenvolvida pelo Laboratório de Produtos Florestais do IBAMA, visando a definir parâmetros para análise técnica e econômica de unidade industrial para briquetar o carvão vegetal.

## ABSTRACT

Making use of the process of briquetting of the charcoal, i.e. a technique which involves granular structure glueing mixture proportional to the charcoal amount, as well as its drying and compactation, it is possible to obtain fuel with better density, higher mechanical resistance and of low thin generation. Therefore, problems such as the charcoal's handling, transportation, stocking and usage are not found in briquettes because of their uniform granular structure.

Although this process is highly developed in many countries, in Brazil the briquetting of the charcoal is developed in a low scope of range.

Only a few siderurgical companies have been researching and investing in this field through experiences.

This work presents the results of some of these experiences as well as some pioneer activities done in the country. Moreover, it also shows the results of researches that the Forestry Products Laboratory – IBAMA has been developing. Such results aim to define parameter for the economical and technical analysis of industrial unity for the briquetting of charcoal.

## INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de carvão vegetal, produzindo, segundo o Balanço Energético Nacional/86, 9,7 milhões de toneladas/ano. Este insumo energético é em grande parte utilizado pelo setor industrial brasileiro, principalmente o segmento siderúrgico com 78,0% do consumo nacional. O segmento cimenteiro, que vem substituindo de modo crescente o óleo combustível nos últimos anos, passou de 3,0% em 1980 para 11,0% do consumo nacional em 1984 e os setores residencial, comercial e público corresponderam a 9,0% do consumo em 1984.

Apesar de ser um excelente combustível e de sua larga aplicação, algumas de suas características e propriedades são desfavoráveis, como a baixa densidade, friabilidade, desuniformidade granulométrica, restringindo sua utilização em certos casos. A fonte de matéria-prima para o carvão fica cada vez mais distante dos centros de consumo, em função

do avanço das fronteiras de desenvolvimento agropecuário, desmatamentos e elevação do custo da terra para reflorestamento, fazendo da sua baixa densidade um fator limitante, em face do custo de transporte. O carvão vegetal gera nas fases de produção, transporte, manuseio e peneiramento nas usinas siderúrgicas uma quantidade elevada de finos, podendo chegar a 25% do total produzido e, em alguns casos, apresentando dificuldades e/ou inviabilidade para o seu aproveitamento. Estes finos representam, hoje, cerca de 2,0 milhões de toneladas/ano, correspondendo a 1,3 milhão de tEP.

Através do processo de briquetagem do carvão vegetal, com uso de aglutinantes, ou seja, técnica que envolve balanceamento granulométrico, mistura proporcional de aglutinante, compactação e secagem, consegue-se o aproveitamento dos finos de carvão na forma de um combustível de melhor densidade, mais homogêneo, granulometria uniforme, maior resistência mecânica e baixa geração de finos, mantendo-se as características energéticas do carvão, facilitando o manuseio, a estocagem, a utilização do mesmo e permitindo o seu transporte a maiores distâncias.

Este trabalho objetiva apresentar um breve histórico das experiências de briquetagem do carvão vegetal no Brasil e os resultados alcançados até o momento, com a pesquisa que vem desenvolvendo o Laboratório de Produtos Florestais – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis/Diretoria de Incentivos à Pesquisa e Divulgação – no estudo de um processo de briquetagem do carvão com prensa extrusora, com o apoio de empresas como Themag Engenharia, Acesita Energética S.A. e Máquinas Morando S.A.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A briquetagem do carvão vegetal é hoje um processo já bastante conhecido no exterior, com inúmeras indústrias operando, principalmente nos EUA e Europa. Apesar de ser o maior produtor e consumidor de carvão vegetal do mundo, o Brasil não possui tradição industrial na produção de briquetes de carvão.

A escassa bibliografia existente sobre o assunto registra experiências desenvolvidas no país, tanto em escala de laboratório quanto em escala piloto, por algumas siderúrgicas e instituições de pesquisa, visando à aglomeração dos finos de carvão vegetal para uso industrial.

A Companhia Siderúrgica Belgo Mineira (4) realizou, em 1959, estudos em laboratório objetivando a aglomeração de finos de carvão vegetal para uso em alto forno. O carvão utilizado provinha da sobra de moinha, estimada em 120t/dia. Foram usados dois tipos de aglomerantes, inicialmente o alcatrão vegetal, obtido na carbonização da madeira de eucalipto, sem tratamento especial, a não ser a sua desidratação e desacidificação. Posteriormente utilizou-se um alcatrão parcialmente destilado chamado de BOP (Breu e Óleos Pesados). Segundo OLIVEIRA (4), para a obtenção de aglomerados de boa qualidade deve-se ter particular atenção quanto à granulometria e umidade da moinha, qualidade, proporção do ligante, temperatura do carvão e da pasta. Os estudos da Belgo Mineira concluíram que a aglomeração dos finos de carvão vegetal com o aglomerante BOP oferece vantagens técnicas, suprimindo o estufamento e a destilação de aglomerados, mas é necessário tratar o alcatrão. Apesar de terem concluído que a briquetagem dos finos de carvão vegetal era, na época, uma de suas melhores utilizações, os trabalhos, no entanto, não foram adiante.

BROSCH e FURUNO (2), da Divisão de Metalurgia do IPT, realizaram, em 1968, uma pesquisa sobre a aglomeração de moinha de carvão vegetal. Dentre os parâmetros estudados estão: análise granulométrica dos finos de carvão vegetal, separação hidrogravimétrica desses finos, composição de misturas de carvão vegetal com melaço e carvão mineral nas proporções de 10 a 15% de melaço e 25 a 60% de carvão mineral, pressão de briquetagem variando de 55,70 e 85kg/cm<sup>2</sup>, secagem dos briquetes com posterior determinação da resistência à compressão e comportamento dos briquetes a temperaturas elevadas quando em combustão e sujeitas à carga de compressão. Concluíram que a separação hidrogravimétrica da moinha permite enriquecimento da mesma, reduzindo a percentagem de cinzas e impurezas. Em relação ao briquete, afirmaram que o carvão metalúrgico nacional, em conjunto com o carvão vegetal, produz briquetes de boa resistência mecânica e tem bom comportamento durante a queima.

Em 1977, SILVEIRA e CAMPOS (5), da Acesita, apresentaram uma série de alternativas para o uso dos finos de carvão vegetal, considerando que a única utilização que vinha sendo dada a esta matéria-prima, à época, era sinterização de minérios de ferro. Uma destas alternativas era a briquetagem dos finos e sua utilização no alto-forno. Entre as características que o briquete deveria apresentar constavam: a uniformidade granulométrica para permitir uma distribuição mais homogênea do fluxo gasoso através da carga; maior densidade que o carvão, conduzindo a um menor consumo específico de carbono e resistência mecânica suficiente, tanto a frio como quando aquecido sob pressão nas condições de reação do processo no alto-forno.

Em estudos e pesquisas desenvolvidas pela Mannesmann S.A., em 1979, MOTTER, ARFELD e RODRIGUEZ (3) realizaram experiências, inicialmente em escala de laboratório, utilizando prensa de cilindro rotativo Komarek, concluindo que o briquete de melhor qualidade foi obtido tendo como aglomerante o melaço de cana. Posteriormente, construiu-se uma prensa maior de cilindros rotativos, rolo de 495mm de diâmetro e largura de 320mm, com capacidade de produção estimada em 1,5t/hora de briquete. Com o uso do melaço *in natura*, os briquetes apresentavam alta higroscopicidade, sendo também requerida uma grande quantidade de melaço, cerca de 30%. Estudou-se, portanto, um tratamento térmico para o aglomerado, visando a diminuir sua participação na mistura e, conseqüentemente, minimizar a higroscopia do briquete. A moinha utilizada foi também parcialmente desvolatilizada em forno rotativo a 700°C. Após inúmeros ensaios, estabeleceu-se que os briquetes para uso siderúrgico deveriam satisfazer os seguintes requisitos: teor de cinzas abaixo de 12%, materiais voláteis abaixo de 15%, carbono fixo acima de 73%, enxofre de 0,5% e resistência mecânica na compressão maior que 70kg/cm<sup>2</sup>.

Foram testadas em fornos de redução da Mannesmann S.A. 340 toneladas de diferentes tipos de briquetes, conseguindo-se substituir até 10% do carbono fixo proveniente do carvão vegetal, sem alterar muito a marcha do forno. No forno elétrico de redução, substituiu-se até 20% do carbono fixo, tendo o forno aceitado bem a alteração de carga, com marcha bastante regular. Em recente visita à empresa, informaram-nos que os resultados técnicos do programa de briquetagem foram satisfatórios, mas economicamente desinteressantes, uma vez que os custos incorporados a estes finos tornariam o briquete mais caro que o carvão, e as vantagens operacionais não justificavam a elevação do custo, havendo mercado para a moinha.

As pesquisas com carvão vegetal de babaçu, desenvolvidas no Centro de Pesquisas da Usiminas, foram iniciadas em 1975, objetivando o emprego deste combustível na sinterização, em substituição parcial ou total ao coque fino. Segundo ASSI *et alii* (1), a

partir de 1979 começou a ser estudada a briquetagem de carvão de babaçu, visando à obtenção de briquete com resistência a quente compatível com seu uso em cubilôs e altos-fornos de pequeno porte. Como aglomerante utilizaram-se dextrina de milho (produto intermediário formado na hidrólise do amido), piche com baixo ponto de amolecimento, entre 36 e 40°C, melação e emulsão asfáltica. Estas experiências permitiram concluir que é possível empregar o carvão vegetal de babaçu na forma de briquete, com boa resistência mecânica a frio e a temperaturas elevadas, desde que se usem como aglomerante o piche de carvão mineral e a dextrina de milho. Pode-se também substituir o coque em fornos cubilôs, com 600mm de diâmetro, por briquetes, acarretando aumento no consumo de combustível e queda da produção horária de ferro fundido.

Segundo BORBA (6), a Usiminas realizou experiências com briquetes de carvão vegetal em escala industrial, em 1977, com resultados satisfatórios. Relatórios internos mostraram que na coqueria nº 01 poderiam ser consumidos até 200 mil toneladas/ano de moinha de carvão vegetal, via briquete. Em toda a usina o consumo de carvão vegetal poderia ultrapassar 500 mil toneladas/ano. Os estudos visando a implantar o processo de briquetagem nas coquearias da empresa foram interrompidos no final da década de 70, em virtude das dificuldades econômicas que o país atravessava.

Em relação à produção de briquetes de carvão vegetal para uso doméstico, tanto em escala de laboratório como em escalas piloto ou industrial, pouco se tem desenvolvido no país. Não obstante, é esta a principal utilização dos briquetes de carvão produzidos no exterior, com mercado mundial estimado em 1,5 milhão de toneladas/ano. A produção brasileira resume-se, hoje, a atividades pioneiras e isoladas de pequenos produtores, que apesar de possuírem mérito em geral não conseguem obter as qualidades exigidas pelo mercado consumidor, não atingindo também os níveis de produção e comercialização encontrados em outros países.

O processo utilizado atualmente no exterior para a produção de briquetes de uso doméstico divide-se em: moagem e classificação do carvão, mistura do aglutinante e água, prensagem, secagem, embalagem e estocagem. Os equipamentos básicos são constituídos de: moinho de martelo, misturador com eixos de pás horizontais, prensa de rolos cilíndricos giratórios com capacidade variando de 0,5 a 5 toneladas/hora, forno de secagem contínua, silos de estocagem e empacotador/dosador automático. O aglutinante mais usado na produção destes briquetes é o amido industrial de milho não-refinado, sendo que o briquete contém normalmente 85% de carvão, 6 a 10% de aglutinante (amido) e 5 a 8% de umidade. Os briquetes apresentam, geralmente, uma forma quadrada com os cantos arredondados (tipo almofada), volume de aproximadamente 30 cm<sup>3</sup> e densidade na faixa de 0,4 a 0,7g/cm<sup>3</sup>.

Existe uma série de fatores que impediu o desenvolvimento desta atividade em nosso país, dentre eles pode-se citar: o consumo de carvão vegetal ser quase que exclusivo na siderurgia e a falta de experiência em larga escala, bem como o desinteresse econômico do uso do carvão briquetado neste setor; o elevado custo das matérias-primas utilizadas como aglomerantes; o baixo preço pago pelo carvão vegetal *a granel*, tornando economicamente inviável qualquer investimento em briquetagem e, em conseqüência, a falta de mercado interno para este produto.

Pela inexistência de um mercado interno atraente, o país ainda não dispõe de nenhuma indústria que produza equipamentos para briquetar o carvão vegetal. Existem tentativas experimentais e isoladas de projetos deste tipo de equipamento, mas ainda com

características bastante diferenciadas, baixa capacidade de produção e deficiente em engenharia de processo, pensando-se em unidade de briquetagem industrial.

Entretanto, acredita-se que o carvão vegetal briquetado pode atender tanto ao mercado externo como ao futuro mercado interno, a preços competitivos, desde que se desenvolva o processo de briquetagem com equipamentos nacionais, matéria-prima e aglutinantes economicamente viáveis, sendo estes dois últimos os principais responsáveis pelo custo de produção do briquete doméstico.

## **ESTUDO DE PROCESSO EXTRUSIVO PARA BRIQUETAR O CARVAO VEGETAL**

Em se tratando de briquetagem do carvão vegetal no Brasil, fica bem caracterizada uma lacuna existente entre as experiências desenvolvidas até agora e a caracterização de uma unidade de produção industrial. Dentro desta lacuna insere-se a iniciativa do Laboratório de Produtos Florestais/LPF, do IBAMA, que, desde 1983, vem pesquisando na área de briquetagem do carvão e resíduos ligno-celulósicos, objetivando levantar parâmetros técnicos e econômicos, com o intuito de definir um sistema de produção de briquetes, com tecnologia simples e compatível com a realidade brasileira.

O LPF iniciou suas pesquisas dando ênfase aos fatores que influenciam a briquetagem do carvão vegetal, tais como: granulometria, temperatura, pressão e proporção do aglutinante. Dentre os aglutinantes estudados destacam-se: amido de milho, fécula de mandioca, breu, resina sintética, alcatrão vegetal, cola de tanino, óleo de caju e melão de cana.

Atualmente, vem-se obtendo excelentes resultados com o estudo de adaptação de um processo extrusivo, amplamente utilizado nas indústrias cerâmicas, para briquetar o carvão vegetal. Este processo difere dos demais processos que utilizam prensas cilíndricas giratórias, pelo fato de se usar uma prensa extrusora com alta capacidade de produção, tecnologia simples e com a vantagem de ter um custo correspondente a 20% do valor da prensa importada.

Este trabalho retrata os primeiros resultados obtidos com os ensaios realizados, objetivando aglomeração dos finos de carvão vegetal com aglutinantes amiláceos de milho e mandioca, através de processo extrusivo – a maromba – tanto em escala de laboratório quanto industrial.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os ensaios foram executados no laboratório e protótipo industrial da empresa Máquinas Cerâmicas Morando S.A., Jundiá-SP, sendo as análises físico-químicas das moinhas e carvão vegetal, bem como dos briquetes produzidos, realizados pelo Laboratório Produtos Florestais, Brasília-DF.

### **Materiais e Equipamentos**

Os materiais utilizados nos ensaios foram:

- Moinha de carvão vegetal suja (com alta porcentagem de cinzas) fornecida pela Acesita Energética;

- Moinha de carvão vegetal limpa (com baixa porcentagem de cinzas) fornecida pela Acesita Energética;
- Carvão vegetal moído, fornecido pela Morando S.A.;
- Collamil (amido regular de milho tipo Waxy) Refinações de Milho Brasil;
- Mogul (farinha de milho pré-gelatinizada) Refinações de Milho Brasil; e
- Fécula de mandioca – Companhia Lorenz.

#### Equipamentos utilizados em laboratório:

- Maromba M-1 (prensa extrusora sem misturador);
- Maromba M-2 (prensa extrusora com misturador);
- Estufa de secagem com circulação de ar – 220°C;
- Sistema de secagem com soprador de ar quente;
- Forno mufla – 1.200° C;
- Batedeira de argamassa/cimento;
- Triturador/agitador mecânico;
- Bomba calorimétrica; e
- Densímetro e demais equipamentos usuais de laboratório.

#### Equipamentos utilizados em escala industrial:

- Protótipo industrial constituído de Maromba MVP-2 (prensa extrusora com vácuo, capacidade de produção quatro toneladas/hora, 40HP), misturador Morando LA3 (capacidade 15/30m<sup>3</sup> /hora, 30/40HP);
- Moinho de martelo Tigre E-12 (capacidade duas toneladas/hora, 15HP);
- Betoneiras comuns para concreto (capacidade 180 e 320 litros);
- Balança tipo plataforma; e
- Túnel de secagem com esteira e circulação forçada de ar quente em contracorrente dotada de temporizador.

#### Procedimento

Inicialmente foram preparados três tipos de moinha de carvão vegetal, todos apresentando granulometria abaixo de 3,0mm. Posteriormente realizou-se uma série de moagens e quebra do carvão vegetal de eucalipto, nos equipamentos: moinho de martelo, desintegrador de rolos-DAFI e laminador-LA3, para se observar o desempenho destes equipamentos no preparo de carvão para briquetagem na maromba. Pelo fato de as moinhas fornecidas pela Acesita Energética apresentarem uma concentração muito alta na faixa granulométrica, entre 2,38mm e 0,84mm, as mesmas foram trituradas em laboratório, objetivando melhor distribuição granulométrica, bem como maior porcentagem de finos abaixo de 0,84mm. Adotaram-se as seguintes simbologias para identificação das moinhas e carvão vegetal moído:

- |        |                                   |
|--------|-----------------------------------|
| . AEL  | – Moinha Acesita Limpa;           |
| . AES  | – Moinha Acesita Suja;            |
| . M    | – Moinha Morando;                 |
| . AELT | – Moinha Acesita Limpa Triturada; |

- . AEST – Moinha Acesita Suja Triturada 1;
- . CVM ≠ 1 – Carvão Vegetal obtido do Moinho de Martelo com peneira 01;
- . CVM ≠ 2 – Idem com peneira 02;
- . CVM ≠ 3 – Idem com peneira 03;
- . CVL – carvão Vegetal Moído no Laminador;
- . CVD – carvão Vegetal Moído no Desintegrador.

Certos aglutinantes, como Collamil e fécula de mandioca, requerem um tratamento prévio de pré-gelatinização, o qual pode ser obtido por introdução de álcalis ou aquecimento. O gel obtido por aquecimento foi misturado ao pó de carvão vegetal, numa temperatura não inferior a 60°C. No caso do aglutinante pré-gelatinizado, como o Mogul, a mistura é direta ao pó de carvão vegetal, adicionando-se água.

Nos testes laboratoriais, a mistura do pó de carvão vegetal, aglutinante e água foi feita manualmente com auxílio de uma espátula. Em seguida, a mistura foi submetida a um processo mecânico, que consistia na passagem da massa pela maromba (sem a boquilha), a fim de se obter a plasticidade e a consistência necessária. Ao atingir este estágio, conectava-se a boquilha na extremidade da maromba, extrudando a massa na forma de briquetes retangulares (filetes), que foram cortados em seções menores, submetidos a diversas formas de secagem.

Nos testes realizados no protótipo industrial, a mistura prévia dos componentes (carvão, aglutinante e água) foi feita na betoneira. Para atingir a plasticidade e a consistência desejada, repetia-se todo o procedimento efetuado na prensa de laboratório. As etapas de briquetagem na maromba MVP-2 iniciam-se no sistema de alimentação da mesma e, posteriormente, ocorre a condução da massa através de eixo helicoidal até a matriz de extrusão, obtendo-se os briquetes extrusados pela boquilha da prensa, cortados em dimensões menores e submetidos aos processos de secagem. Esta secagem correspondia a um ou mais dos tratamentos descritos a seguir, até atingir 5% do conteúdo de umidade:

- Secagem branda em estufa a 80°C por 8 horas;
- Secagem inicial rápida em estufa e a partir de 50°C com incremento de 1°C/min, até atingir 110°C, permanecendo por 15 minutos;
- Secagem forçada através de um soprador de ar quente, com gradiente de temperatura variando de 50°C até 80°C, num período de tempo suficiente para atingir a umidade supracitada;
- Secagem em forno tipo túnel com esteira e injeção de ar quente, com gradiente de temperatura de 40°C até 90°C e tempo de secagem de 2 horas, na taxa de aquecimento de 0,41°C/minuto.

O Quadro 01 apresenta 24 dos 37 ensaios realizados, onde estão especificados porcentagem de água e aglutinantes, chamados de “tratamentos”, tipos de aglutinante, moinha e carvão vegetal moído, além dos comentários a respeito de cada ensaio.

## Resultados e Discussão

Os primeiros resultados obtidos neste trabalho são apresentados no quadro 01. Apesar de não ter sido feito um planejamento estatístico, objetivando avaliar e comprovar estatisticamente a influência ou não de certos fatores, estas informações são importantes no estudo global para a definição de um processo extrusivo na briquetagem do carvão vegetal. Os resultados apresentados neste quadro correspondem às respostas de cada ensaio realizado, dando uma boa idéia da influência de alguns parâmetros, tais como: distribuição granulométrica da moinha e carvão moído, qualidade da moinha, dosagem dos aglutinantes com adição de água na mistura e performance dos equipamentos testados.

O Quadro 02 apresenta a análise granulométrica da moinha e do carvão vegetal moído utilizados nos ensaios de laboratório e protótipo industrial. As granulometrias das moinhas fornecidas pela Acesita Energética, tipo AES e AEL, estão concentradas na faixa de 2,38mm e 0,84mm. Os ensaios realizados no protótipo industrial com estas moinhas não apresentaram resultados satisfatórios, sendo que as tentativas de correção da granulometria, acrescentando a moinha Morando (M), não tiveram êxito. Optou-se para a modificação granulométrica da moinha pela passagem em triturador mecânico de laboratório e tamisadas na peneira de 0,84mm. As novas moinhas, identificadas como AEST e AELT, apresentaram uma maior porcentagem de finos abaixo de 0,84mm, semelhante à moinha tipo M, tornando possível a produção de briquetes, com maior consumo de água.

**Quadro 01. Resumo dos ensaios realizados em a) laboratório e b) escala industrial**

a) Laboratório					
Número do ensaio	Tipo do aglutinante	Tipo da moinha ou pó de carvão	Tratamento*		Observações
			Aglutinante (%)	Água (%)	
1	Mogul gel	M	7,0	30	Maromba M-1, produziu briquetes com excesso de água.
2	Mogul gel	M	6,0	26	Maromba M-1, plasticidade adequada obtida por tentativa e secagem sob ar quente.
3	Mogul gel	AEL	8,0	35	Maromba M-1, plasticidade baixa, não passou pela maromba.
4	Mogul gel	AEL	8,0	76	Maromba M-1, plasticidade adequada após varias passagens pela prensa, secagem forçada com ar quente.
5	Mogul gel	AELT	5,0	75	Plasticidade adequada passando pela maromba M-1 e obtendo-se os briquetes, secagem forçada sob ar quente.
6	Mogul gel	CDV	16,0	80	Mistura sem plasticidade, obtenção de briquetes após varias passagens pela maromba M-1.
7	Mogul pó	AEL	8,0	64	Plasticidade baixa, emperramento da pasta nas marombas M-1 e M-2.
8	Mogul pó	AELT	6,0	75	Plasticidade adequada, obtenção dos briquetes na maromba M-1, secagem forçada sob ar quente.
9	Mogul pó	AEST	5,0	75	Plasticidade adequada, obtenção dos briquetes na maromba M-1, secagem forçada sob ar quente.
10	Mogul pó	CVL	6,0	65	Mistura sem plasticidade, obtenção de briquetes após varias passagens pela maromba M-1.
11	Collamil	M	6,0	28	Plasticidade adequada, briquetes secos em estufa e a mistura foi colhida na betoneira e usada na escala industrial.

12	Collamil	CVL+CVD (50%)	7,0	52	Mistura sem plasticidade, obtenção de briquetes após 22 passagens pela maromba M-1.
13	Fécula de mandioca	CVL+CVD (50%)	7,0	60	Mistura sem plasticidade, com concentração de água na saída da maromba. obtenção de briquetes com rachaduras.
14	Fécula de mandioca	CVM	5,0	70	Ensaio de cura. Mistura pó de carvão, água e aglutinante realizada 72 horas antes do uso. obtenção de briquetes após passagem pela maromba M-1.

b) Escala Industrial					
Número do ensaio	Tipo do aglutinante	Tipo da moinha ou pó de carvão	Tratamento*		Observações
			Aglutinante (%)	Água (%)	
15	Collamil	M	8,6	40	Pasta passada pela maromba MVP-2 demonstrou plasticidade alta. Não foi possível briquetar.
16	Collamil	M	6,0	28	Plasticidade adequada, obtenção dos briquetes e secagem forçada sob ar quente e em estufa.
17	Mogul gel	AEL	6,0	34	Não foi possível a obtenção da pasta, a betoneira mostrou-se inadequada para a mistura, houve pelotização e ficou úmido.
18	Mogul pó	M	5,0	22	Plasticidade adequada, idem ao ensaio 16.
19	Mogul pó	CVM≠2	7,0	70	Mistura efetuada na betoneira mostrou-se deficiente.
20	Mogul pó	CVM≠3	7,0	70	Mistura na betoneira deficiente. Passagem do material em misturador não resolveu o problema. Obtenção de briquetes após varias passagens pela maromba MVP-2.
21	Fécula de mandioca	CVM≠2	7,0	70	Mistura em betoneira deficiente. Obtenção dos briquetes após varias passagens pela maromba MVP-2.
22	Fécula de mandioca	CVM≠2	5,0	70	Idem ao ensaio número 21.
23	Fécula de mandioca	CVM≠2	6,0	60	Idem ao ensaio número 21.
24	Fécula de mandioca	CVM≠1	5,5	55	Mistura em betoneira foi deficiente. Instalação de metálico na saída da maromba. Houve bom desempenho da maromba como misturador

\*As porcentagens descritas foram acrescidas em 100% para o peso moinha ou do pó de carvão vegetal em base úmida.

**Quadro 02.** Análise granulométrica das moinhas e carvão vegetal moído, utilizados nos testes de laboratório e protótipo industrial

Peneiras Número Abertura (mm)	Moinhas e Carvão Vegetal (%)						
	AEL	AES	M	AELT	AEST	CVM ≠ 1	CVM ≠ 3
Retido em 8 mesh (2,28mm)	4,46	5,89	4,67	0,00	0,00	0,06	0,19
Número 8 (2,38mm)	63,31	80,52	8,80	1,07	0,00	3,96	13,29
Número 20 (0,84mm)	9,73	7,63	15,88	28,53	32,05	32,24	30,11
Número 40 (0,42mm)	3,51	1,08	14,30	12,56	13,43	14,40	11,10
Número 60 (0,25mm)	2,05	0,69	10,72	7,14	7,79	7,66	6,51
Número 80 (0,177mm)	0,67	0,26	3,59	3,36	2,67	3,33	2,76
Número 100 (0,149mm)	1,31	0,30	9,42	5,41	5,19	6,11	4,52
Número 150 (0,105mm)	1,20	0,20	7,52	4,46	4,59	4,95	3,78
Número 200 (0,074mm)	11,70	3,27	25,68	37,22	34,25	27,26	27,53
Perdas na Análise	0,06	0,07	0,32	0,25	0,03	0,09	0,21
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

As moinhas apresentaram, no geral, alto teor de cinzas, baixo teor de carbono fixo e conseqüentemente baixo poder calorífico, em comparação com o carvão vegetal moído utilizado nos ensaios, conforme demonstra o Quadro 03. Os resultados da análise química imediata e do poder calorífico desses materiais indicam que há forte correlação entre o poder energético dos briquetes e a qualidade das moinhas utilizadas.

**Quadro 03.** Análise química imediata e poder calorífico das moinhas e carvão vegetal utilizados nos ensaios

Tipo de Moinha	Análise química imediata (base seca - %)				Poder calorífico (kcal/kg base seca)	
	Unidade	Materiais Voláteis	Carbono Fixo	Cinzas	PCS	PCI
AELT	6,44	17,85	70,85	11,84	6,485	6,350
AEST	4,56	17,31	53,27	29,40	5,434	5,299
M	2,11	4,51	67,81	28,02	4,702	4,567
Carvão Vegetal	6,14	14,56	84,12	1,32	8,580	8,450

O Quadro 04 apresenta os resultados da análise química imediata e da densidade aparente das amostras de briquetes produzidos em equipamentos de laboratório e protótipo industrial. Observa-se que os briquetes fabricados, a partir das moinhas, apresentam alto teor de cinzas, exceto aqueles obtidos a partir do carvão vegetal moído.

**Quadro 04.** Análise química imediata e densidade aparente dos briquetes produzidos

Composição dos briquetes (moinha + aglutinante)	Análise química imediata (base seca - %)				Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )
	Unidade	Materiais voláteis	Carbono Fixo	Cinzas	
AELT+Mogul 5%	7,51	21,63	62,81	15,55	0,85
AELT+Mogul 6%	5,67	21,53	62,49	15,97	0,76
AELT+Mogul 8%	4,08	22,55	66,28	11,16	0,82
AEST+Mogul 5%	4,84	18,48	48,76	32,72	0,80
AEST+Mogul 6%	4,99	19,76	51,98	28,24	0,74
AEST+Mogul 8%	4,62	21,49	50,19	28,80	0,87
M + Mogul 5% (sem vácuo)	3,01	8,61	64,37	27,00	0,98
M + Mogul 5% (com vácuo)	2,89	8,75	63,15	28,08	1,23
*C.V. + Fécula Mandioca 5% (sem ferro e com vácuo)	7,96	17,65	80,48	1,87	0,91
C.V. + Fécula Mandioca 5% (com ferro e sem vácuo)	5,23	19,78	78,25	1,97	0,84

\*C.V.= Carvão Vegetal

A densidade aparente média dos briquetes produzidos no laboratório foi de 0,80 g/cm<sup>3</sup>, correspondendo a aproximadamente 3 vezes a densidade do carvão vegetal. Para os briquetes produzidos no protótipo industrial, a densidade média foi de 0,99 g/cm<sup>3</sup>, equivalente a aproximadamente 4 vezes a do carvão vegetal.

O poder calorífico dos briquetes não foi determinado devido aos problemas apresentados no calorímetro. Realizou-se a determinação apenas para o briquete de carvão vegetal, com 6% de fécula de mandioca e extrusado na maromba industrial, com os seguintes resultados: PCI de 8.350 kcal/kg e PCS de 8.485 kcal/kg, em base seca.

A análise de friabilidade (teste de tamboramento) foi parcialmente realizada, pelo fato de não se ter normas específicas para briquetes, estabelecendo a forma e o tamanho. Porém, foram realizados testes com briquetes de dimensões aproximadas de 3,0cm de diâmetro e 4,0cm de comprimento, alguns apresentando um furo interno, com aproximadamente 4,0cm de diâmetro. Os resultados do teste de tamboramento desses briquetes estão apresentados no quadro 05.

**Quadro 05.** Teste de tamboramento, em escala de laboratório, de briquetes produzidos em maromba MVP-2, sem vácuo

Composição dos briquetes	Características do briquete	Porcentagem de finos abaixo de 12,7mm	Classificação
C.V. + Fécula de Mandioca 5%	Com furo	8,48	Muito pouco friável
C.V. + Fécula de Mandioca 5%	Sem furo	3,85	Muito pouco friável
C.V. + Fécula de Mandioca 6%	Com furo	3,90	Muito pouco friável
C.V. + Fécula de Mandioca 6%	Sem furo	3,70	Muito pouco friável

Realizou-se também um teste de queima dos briquetes, objetivado-se avaliar o comportamento dos mesmos, quando submetidos a chama oxidante de um bico de Bunsen em laboratório. Observou-se que, durante a combustão, os briquetes mostram uma boa resistência mecânica a quente, visto que não desagregaram nem mesmo racharam, queimando todo o material de forma uniforme e contínua.

## CONCLUSÃO

Alguns estudos para produção de briquetes de carvão vegetal no Brasil com importação desta tecnologia concluíram pela inviabilidade econômica. Portanto, é necessário o desenvolvimento desta tecnologia no Brasil, com equipamentos e instrumentação aqui produzidos, porquanto o país já atingiu um bom nível tecnológico, até exportando produtos de elevada sofisticação. Existem indústrias capazes e técnicos competentes para isso. Neste contexto insere-se a iniciativa do IBAMA em incentivar a adaptação de equipamentos e difundir a tecnologia da briquetagem, que poderá e deverá trazer benefícios aos pais, em face da sua grande vocação florestal e exuberante potencial de biomassa.

Apesar de os técnicos do setor siderúrgico não verem a possibilidade de substituição do carvão vegetal por briquetes num prazo inferior a cinco ou oito anos, a disponibilidade de carvão produzido próximo às siderúrgicas é cada vez menor, além do que, no processo de briquetagem, existe a possibilidade de se adequar o produto dentro das necessidades e especificações da siderurgia, aproveitando não só a lenha dos desmatamentos, como, também, os resíduos agroindustriais em geral.

Pode-se ainda afirmar que um período de cinco a oito anos é quase insignificante para o desenvolvimento e a implantação de uma tecnologia ou alteração de um processo industrial como o siderúrgico.

Considerando-se também que a maior parte das florestas desmatadas no norte do país não está sendo aproveitada economicamente, a opção de aproveitamento energético através da briquetagem seria uma importante perspectiva, principalmente pensando-se em mercado externo.

Quanto aos testes para adaptação de uma prensa extrusora, usada na indústria cerâmica – a maromba –, apontaram bons resultados, sendo esta possivelmente a solução, dada a inexistência no país de equipamentos industriais para briquetagem do carvão vegetal.

As observações e as análises de laboratório das moinhas utilizadas nestes ensaios mostraram uma inferioridade deste material em relação ao carvão vegetal, tanto pela quantidade de impurezas contidas, quanto pela própria natureza de origem, muitas vezes proveniente de carvões frágeis, cascas e finos. Portanto, ressalta-se que o aproveitamento da moinha através da briquetagem, mesmo que esta passe por um processo algumas restrições quanto ao aspecto qualitativo do energético produzido, pensando-se no seu uso industrial.

Outro aspecto importante é a distribuição granulométrica das partículas finas. A granulometria influi diretamente na quantidade do aglutinante e da água, na resistência mecânica e decisivamente na qualidade do briquete, podendo em alguns casos, como apresentado nestes ensaios, impedir a extensão.

O equipamento testado, um conjunto industrial de extensão a vácuo, para 4 toneladas/hora, teve excelente performance, indicando, no entanto, que alguns componentes devem ser adaptados à briquetagem do carvão. O ponto crítico no processo é a mistura, já que a extrusora exige uma plasticidade específica da pasta. Os misturadores originais do processo cerâmico e betoneiras comuns não atenderam bem durante os testes.

Em vista dos resultados obtidos, justificam-se a maior e a melhor investigação deste processo, testando-se outros equipamentos como moinhos, misturadores/dosadores e

sistema de secagem, a fim de se definir um processo integrado e contínuo, visando a otimização da atual linha de produção industrial de briquetes sugerida.

## REFERENCÍAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSI, Aziz; LEAI F. Lanna; ULHOA, M. Botelho; BORBA, P. E. Mascarenhas e SILVA, Y. I. Alves da – Perspectiva do carvão Babaçu como Alternativa Energética na Siderurgia Brasileira. Centro de Pesquisas da Usiminas. Contribuição Técnica número - 1.654. XXXVI Congresso Anual da ABM- Recife-PE, Julho, 1981.
2. BROSCH, C. Dias e FURUNO, J. Kaoro – Aproveitamento dos Finos de Carvão Vegetal. Divisão de Metalurgia do IPT. Contribuição Técnica número - 748. XXII Congresso Anual da ABM. Vitória-ES, Julho, 1968.
3. MOTTER, Cleomir; ARFELD, E. Diego e RODRIGUEZ, M<sup>a</sup> - C. Cabaleiro – Aproveitamento dos Finos de Carvão Vegetal para Produção de Briquetes de Uso Siderúrgico. Mannesmann S.A. Trabalho apresentado no XXXIV Congresso Anual da ABM – Porto Alegre – RS, Julho, 1979.
4. OLIVEIRA, Lázaro de; GARCIA, R. Viudes e COLLET, F. Samuel – Aglomeração dos Finos de Carvão Vegetal. Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira. Contribuição Técnica número - 341. XIV Congresso Anual da ABM – Belo Horizonte-MG, Julho, 1959.
5. SILVEIRA, R. Correa da e CAMPOS, V. Falconi – Utilização de Finos de Carvão Vegetal. Acesita. Simpósio sobre Siderurgia Brasileira e matérias-primas. Salvador- BA, Abril, 1977.
6. ULHOA, M. Botelho; BORBA, P. E. Mascarenhas e SILVA, Y. I. Alves da – Emprego de Carvão Vegetal em Coqueiras através do Processo de Coqueificação misturra-briquete. Centro de Pesquisas da Usiminas. Revista Metalurgia-ABM. vol. 41, número - 329. Sao Paulo, SP. Abril, 1985.