

IPEF n.26, p.25-30, abr.1984

Estudo tecnológico da madeira de *Pinus* spp para a produção de carvão vegetal e briquetagem

JOSÉ OTAVIO BRITO

Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

OSCAR DE NUCCI

Instituto de Pesquisas Tecnológicas Estado de São Paulo

RESUMO - Pretendeu-se analisar a produção de carvão vegetal com madeira de árvores com 8-9 anos de idade e provenientes de desbaste de pinheiros tropicais (*P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. oocarpa*) plantados no Estado de Minas Gerais, complementando-se com um estudo sobre briquetagem do carvão produzido.

Com relação ao rendimento de carbonização e densidade do carvão as três espécies de pinheiros testados mostraram resultados inferiores ao normalmente obtido com madeiras de folhosas no Brasil. A friabilidade, a granulometria e a composição química imediata segundo os parâmetros analisados mostram-se no entanto aproximados para o uso siderúrgico.

No estudo de briquetagem usando-se alcatrão como aglutinante pode-se concluir da viabilidade da produção de briquetes de carvão vegetal de pinheiros tropicais em função da superior qualidade dos mesmos, comparada a do carvão "in natura".

ABSTRACT - This paper presents results of the study about the charcoal production with wood trees removed during the initial thinning of tropical (*P. caribaea* var. *hond.*, *P. caribaea* var. *bahamensis* and *P. oocarpa*). The pine wood can be used for charcoal production, althout the yield and bulk density are inferior compared with the traditional hardwood or Eucalyptus wood utilized in the Brazil.

Charcoal briquettes were prepared from the charcoal of the pine wood using tar as binder. A comparison of the properties of the briquettes with the native charcoal It presented. It is possible to obtain briquettes of good properties to industrial and domestic uses.

INTRODUÇÃO

Nos últimos 15 anos houve um significativo aumento do plantio de *Pinus* no Brasil através de reflorestamentos. Reflexo desse fato pode ser observado na prática pela grande oferta de madeira de espécies do gênero, sem um consumo certo e bem definido. Tal situação torna-se mais real ainda se nos atentarmos para madeira fina proveniente de desbastes intermediários executados nas florestas a priori do corte final.

O carvão produzido a partir do *Pinus* poderia vir a se constituir em mais uma alternativa para essa matéria-prima de modo a aumentar o seu leque de possibilidades de uso e comercialização.

Os objetivos desse trabalho como um todo, compreenderam a avaliação do potencial da madeira de *Pinus* spp como fonte de matéria-prima destinada à produção de carvão

vegetal, especificamente a partir de material de desbaste. À par dos estudos sobre produção e caracterização do carvão de *Pinus* foram realizados estudos sobre caracterização da madeira utilizada, bem como sobre briquetagem do carvão produzido.

MATERIAL FLORESTAL BÁSICO

Os estudos foram realizados com madeiras de desbaste de *Pinus* implantados no Estado de Minas Gerais e que foram coletados em reflorestamentos da empresa Reflorestadora Sacramento «RESA» Ltda..

As espécies testadas foram o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. oocarpa* fornecendo material de desbaste (44% das árvores) com 8 a 9 anos de idade.

CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA

Para as madeiras das espécies foram analisados e calculados os seguintes parâmetros:

- densidade, e
- composição química.

A tabela 1 resume os resultados alcançados na caracterização das madeiras.

TABELA 1: Caracterização física e química da madeira

Característica	<i>P. caribaea</i> var. <i>hond.</i>	<i>P. caribaea</i> var. <i>baham.</i>	<i>P. oocarpa</i>
Densidade básica média	0,353	0,335	0,396
Teor de holocelulose	65,8	64,7	62,0
Teor de lignina	31,8	33,6	31,0
Teor de extrativos solúveis em:			
. álcool-benzeno	5,1	5,1	5,3
. água quente	10,3	11,3	11,8

PRODUÇÃO E ANÁLISE DO CARVÃO VEGETAL

Matéria-prima, equipamento e processo

Madeira das três espécies de *Pinus* na forma de toretes de 1 m de comprimento foi convertida a carvão vegetal em forno de alvenaria, de superfície com volume nominal de 4 m³ e volume real de 3 estéreos de madeira, em processo por combustão parcial. Foram conduzidas 6 carbonizações por espécie com ciclo médio total de 98,0 horas cada (do acendimento ao final de resfriamento do forno) .

Determinação e análises

Foram avaliados os seguintes parâmetros:

- . rendimento de carbonização
- . densidade do granel do carvão
- . densidade aparente do carvão

- . resistência ao tamboramento (friabilidade do carvão)
- . análise química imediata do carvão

Resultados do estudo de carbonização

A tabela 2 fornece os resultados médios das carbonizações.

TABELA 2: Resultados médios das carbonizações

Parâmetro	<i>P. caribaea</i> var. <i>hond.</i>	<i>P. caribaea</i> var. <i>baham.</i>	<i>P. oocarpa</i>
Umidade da madeira (% base úmida)	41,9	35,1	34,6
Rendimento em peso seco de carvão (%)	12,9	10,8	11,5
Relação st/mdc	2,6	2,8	2,7
Densidade do granel do carvão (t/mdc)	0,135	0,127	0,140
Densidade aparente (g/cm ³)	0,178	0,181	0,215
Friabilidade (tamboramento) (%)	11,8	11,9	12,0
Granulometria:			
fração grossa (%)	77,5	77,9	77,0
fração fina (%)	6,0	4,6	5,3
Análise imediata:			
carbono fixo (%)	74,7	74,8	74,4
voláteis (%)	24,9	24,9	25,3
cinzas (%)	0,3	0,4	0,3

Não houve diferença para rendimento de carvão entre as espécies em termos volumétricos (st/mdc). Esta diferença foi observada no entanto, em termos de rendimento gravimétrico (%), talvez pela maior precisão quanto a sua determinação. No caso, o *P. caribaea* var. *hondurensis* mostrou um rendimento ligeiramente superior ao *P. caribaea* var. *bahamensis*. O *P. oocarpa* mostrou rendimento gravimétrico estatisticamente semelhante a ambas as outras espécies.

De um modo geral as três espécies mostraram rendimento tanto volumétricos como gravimétricos inferiores àqueles normalmente citados para as espécies tradicionais de eucalipto. JUVILLAR (1981) por exemplo, cita um rendimento volumétrico ou relação st/mdc equivalente a 1,7 e rendimento gravimétrico equivalente a 35% para o eucalipto carbonizado em forno de alvenaria, o que comparativamente aos valores aqui obtidos para *Pinus* são bastante superiores.

Com relação às características físicas foram encontradas diferenças significativas para densidade do carvão. Para densidade a granel os maiores valores foram encontrados em ordem decrescente para o *P. oocarpa*, *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. caribaea* var. *bahamensis*. Para a densidade aparente também o *P. oocarpa* apresentou valor superior às duas outras espécies. Convém salientar que a espécie *P. oocarpa* apresentou densidade de sua madeira superior a das outras espécies conforme resultados mostrados na tabela 1. Houve reflexo dessa maior densidade da madeira resultando em carvão mais denso.

De um modo geral, no entanto, as densidades das três espécies estudadas mostraram-se inferiores àquelas normalmente encontradas para carvão de eucalipto. BRITO & BARRICHELO (1980) relatam valores de densidade aparente para carvão vegetal de espécies de eucalipto acima de 230 kg/m³. JUVILLAR (1981) cita valores de densidade a

granel para carvão de eucalipto igual a 230 kg/mdc. Estes valores estão portanto bem acima daqueles encontrados para os carvões de *Pinus* aqui estudados.

Com relação ao teste de tamboramento que mede a aptidão do carvão de suportar os choques que inevitavelmente ocorrerão durante sua manipulação e transporte, observou-se que três espécies tiveram comportamentos semelhantes. Os valores obtidos permitem classificar o carvão das três espécies de *Pinus* estudadas como sendo pouco friável segundo a classificação proposta pelo CTFT (1972).

No que diz respeito à granulometria as três espécies de *Pinus* tiveram um mesmo comportamento, não havendo diferenças entre as médias dos seus valores. Segundo ABM (1975) um bom carvão deve possuir acima de 40% de fração grossa (30 mm) e abaixo de 15% de fração fina (12 mm). Dentro dessa classificação os resultados de granulometria obtidos no presente trabalho permitem concluir que o carvão de *Pinus* mostrou granulometria muito boa.

Os resultados alcançados nas análises químicas do carvão não mostraram haver diferenças significativas entre as espécies em termos do índice de carbono fixo, índice de voláteis e teor de cinzas. Da mesma forma estes valores si situaram próximos daqueles encontrados normalmente para carvão produzido a partir de madeiras de eucalipto.

TABELA 3: Produto de britador de mandíbula (Amostra A)*

Peneiras		% retiradas	
ASTM (mesh)	ABNT (mm)	P/peneira (%)	Acumul. (%)
1,06"	27	-	-
3/4"	19	-	-
0,530"	13,5	-	-
3/8"	9,5	-	-
0,265"	6,8	-	-
4	4,8	-	-
6	3,4	0,00	0,00
8	2,4	1,73	1,73
12	1,7	17,49	19,22
16	1,2	9,43	28,65
20	0,840	9,04	37,69
30	0,600	5,52	43,21
40	0,420	4,50	47,71
50	0,300	1,99	49,70
70	0,210	18,11	67,81
100	0,150	2,59	70,40
140	0,105	3,13	73,53
200	0,075	2,11	75,64
270	0,053	1,58	77,22
400	0,037	6,28	83,50
Fundo	0,000	16,50	100,00
TOTAIS		100,00	100,00

* 100% passante em peneira de malha quadrada de 2,8mm de abertura

TABELA 4: Produto de moinhos de rolos (Amostra B)*

Peneiras		% retiradas	
ASTM (mesh)	ABNT (mm)	P/peneira (%)	Acumul. (%)
1,06"	27	-	-
3/4"	19	-	-
0,530"	13,5	-	-
3/8"	9,5	-	-
0,265"	6,8	0,00	0,00
4	4,8	0,36	0,36
6	3,4	0,85	1,21
8	2,4	1,89	3,10
12	1,7	4,18	1,21
16	1,2	5,47	12,75
20	0,840	9,26	22,01
30	0,600	7,00	29,01
40	0,420	5,33	34,34
50	0,300	3,11	37,45
70	0,210	3,06	40,51
100	0,150	3,81	44,32
140	0,105	4,99	49,31
200	0,075	3,19	52,50
270	0,053	2,36	54,86
400	0,037	10,07	64,93
Fundo	0,000	35,07	100,00
TOTAIS		100,00	100,00

* Espaçamento de 1mm.

PRODUÇÃO E ANÁLISE DE BRIQUETES

Esta fase do estudo foi dividida em duas escalas: uma de laboratório e uma, piloto. A escala de laboratório compreendeu estudos de moagem e ajustes granulométricos, de misturas de ligante, pressões de compactação, temperaturas e tempos de tratamentos de coqueificação e adição de cal hidratada. As tabelas de 3 a 8 e a figura 1 apresentam os resultados obtidos no estudo em escala de laboratório.

As curvas de distribuição granulométrica das amostras preparadas para os ensaios encontram-se igualmente dispersas em relação à distribuição ideal de máximo preenchimento, proposta para materiais não friáveis, conforme se verifica à figura 1.

Os dados de avaliação experimental demonstraram (tabela 6) que a amostra de granulometria B (produto de desintegração em moinho de rolos) proporciona briquetes com resistência mecânica superior ao obtido com as demais granulometrias, após tratamento térmico.

Os resultados de resistência mecânica a verde indicaram (tabela 6) não haver influência da granulometria sobre esta característica.

TABELA 5: Produto de desintegrador de martelos (Amostra C)*

Peneiras		% retiradas	
ASTM (mesh)	ABNT (mm)	P/peneira (%)	Acumul. (%)
1,06"	27	-	-
3/4"	19	-	-
0,530"	13,5	-	-
3/8"	9,5	-	-
0,265"	6,8	-	-
4	4,8	-	-
6	3,4	0,00	0,00
8	2,4	2,77	2,77
12	1,7	13,22	15,99
16	1,2	9,39	25,38
20	0,840	9,47	34,85
30	0,600	5,97	40,82
40	0,420	4,57	45,39
50	0,300	2,38	47,77
70	0,210	3,07	50,84
100	0,150	2,95	53,79
140	0,105	3,70	57,49
200	0,075	2,70	60,25
270	0,053	2,17	62,42
400	0,037	8,50	70,92
Fundo	0,000	29,08	100,00
TOTAIS		100,00	100,00

* Grelha de furos redondos de 4 mm de diâmetro

Verificou-se que maiores pressões de compactação resultaram em maiores índices de resistência mecânica do produto a verde ou após tratamento sob temperatura (tabela 6).

Maiores quantidades de ligante resultaram em maior resistência mecânica do briquete tratado, e não influenciaram esta característica no briquete a verde (tabela 6).

No intervalo 400 a 600°C, não foi sensível a influência da temperatura sobre a resistência mecânica final dos briquetes produzidos. Na temperatura de 900°C, a resistência mecânica apresentou-se ligeiramente superior, tanto com 30 como com 40 partes de alcatrão na mistura (tabela 7).

Não existiu influência sensível sobre a resistência mecânica final dos briquetes tratados a 400°C em períodos de permanência nesta temperatura superiores a 0,5 h.

O estudo em escala piloto teve por objetivo a preparação de um lote de briquetes de carvão de *Pinus* utilizando-se equipamentos de classe industrial ou semi-industrial, com vistas à avaliação final do produto.

O fluxograma do processo é mostrado na figura 2.

O teste de produção piloto obedeceu a seguinte seqüência operacional:

a) Processamento do carvão de *Pinus* no moinho de rolos de 20 cm Ø com afastamento de 1 mm entre rolos, para ajuste granulométrico.

b) Redução do teor de água do alcatrão vegetal através de aquecimento a 100°C até a obtenção de 5% de umidade contida.

c) Mistura inicial dos finos de carvão de Pinus com a cal hidratada na proporção em peso de 100 partes para 1,5 partes, durante 2 minutos utilizando-se o misturador de galgas. Incorporação, com o misturador em movimento, do alcatrão vegetal na proporção de 40 partes em peso deste para 100 partes em peso do carvão processado.

d) Processamento da mistura obtidas nos sistemas de conformação, empregando-se todas as matrizes disponíveis para efeito de avaliação. O produto mais resistente ao manuseio a verde foi obtido com a extrusora dotada de matriz de 50mm Ø, seguido pelo da briquetadeira, empregando matriz de 40 mm Ø.

TABELA 6: Resistência à compressão de briquetes verdes e tratados a 900°C por 2 horas em função da granulometria, pressão de compactação e quantidade de ligante.

Qtde. de Ligante (partes em 100 partes carvão)	Pressão de Compactação (kgf/cm ²)	Resistência à compressão (kgf/cm ²)					
		Granulometria A		Granulometria B		Granulometria C	
		Verde	Tratado	Verde	Tratado	Verde	Tratado
30 alcatrão babaçu e 1,5 cal hidratada	100	1,77	20,21	1,77	33,00	1,77	21,32
	300	3,86	18,86	3,09	36,57	3,44	27,16
	500	3,86	25,42	4,13	37,34	3,86	30,18
40 alcatrão babaçu e 1,5 cal hidratada	100	1,84	42,37	1,81	42,32	1,53	38,00
	300	2,50	45,01	2,15	48,24	1,98	43,45
	500	2,67	48,69	2,57	49,06	2,19	46,99

TABELA 7: Resistência à compressão de briquetes obtidos a partir da granulometria B, compactados a pressão de 300 kgf/cm² e tratados por 2 horas, em função da temperatura de tratamento e quantidade de ligante.

Qtde. de Ligante (partes em 100 partes carvão)	Pressão de Compactação (kgf/cm ²)	Temperatura do tratamento (°C)	Resistência à compressão (kgf/cm ²)
30 alcatrão babaçu e 1,5 cal hidratada	300	400	27,50
		500	26,46
		600	28,06
		900	36,57*
40 alcatrão babaçu e 1,5 cal hidratada	300	400	40,29
		500	36,26
		600	38,55
		900	48,24*

* Valores obtidos na Tabela 6.

TABELA 8: Resistência à compressão de briquetes obtidos a partir da granulometria B, compactados a pressão de 300 kgf/cm² e tratados a 400°C, em função da temperatura de tratamento e quantidade de ligante.

Qtde. de Ligante (partes em 100 partes carvão)	Pressão de Compactação (kgf/cm ²)	Temperatura do tratamento (horas)	Resistência à compressão (kgf/cm ²)
30 alcatrão babaçu e 1,5 cal hidratada	300	0	19,00
		0,5	25,36
		1,0	26,61
		1,5	27,59
		2,0	27,50*
40 alcatrão babaçu e 1,5 cal hidratada	300	0	35,27
		0,5	40,08
		1,0	43,77
		1,5	46,18
		2,0	40,29*

* Valores obtidos dos ensaios realizados para a Tabela 7.

e) Procedeu-se ao tratamento do produto de extrusão através do carregamento destes nos cadinhos metálicos do forno a óleo, segundo aquecimento até temperatura interna de 450°C e permanência nesta temperatura durante 1 hora.

A escolha desta temperatura de tratamento deveu-se ao fato de que, para efeito de avaliação das características mecânicas do produto, temperaturas mais elevadas de tratamento deverão corresponder a melhores índices de resistência.

A tabela 9 apresenta os resultados de caracterização dos briquetes obtidos, ao lado da caracterização do carvão de *Pinus* e de *Eucalyptus*.

Observa-se dos resultados apresentados à tabela 9, que:

- A densidade aparente do briquete resultou, em decorrência da natureza da operação de conformação, em valor superior ao do carvão de *Pinus* de origem, e mesmo do carvão de *Eucalyptus* tomado como referência.

- A resistência do briquete à compressão simples mostrou-se, também, superior à dos carvões de *Pinus* e de *Eucalyptus*. Deve-se ressaltar, ainda, o fato de o briquete não apresentar alteração sensível na resistência à compressão em função da direção do esforço de esmagamento, como ocorre nos carvões vegetais, que possuem baixa resistência a esforços transversais às suas fibras.

- O teste de queda (Shatter test) indicou maior índice de quebra para o produto de conformação, porém, em níveis que não ultrapassam 10% dos valores obtidos para os carvões de referência.

FIGURA 1
 % RETIDA ACUMULADA **Curvas de distribuição granulométrica das amostras A, B e C**

- AMOSTRA 1
- AMOSTRA 2
- ↓ AMOSTRA 3

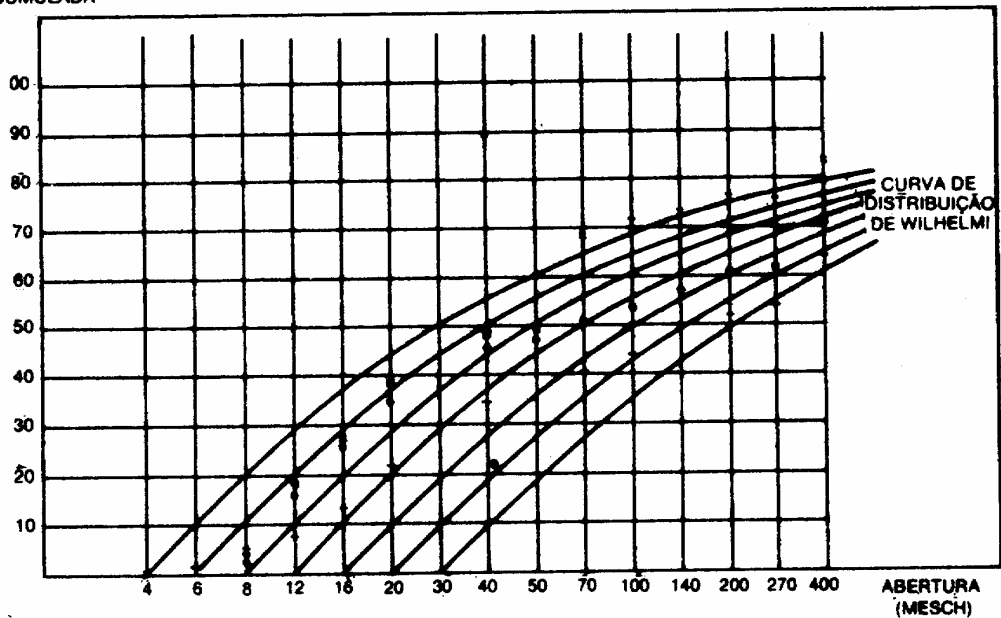


FIGURA 2 - Fluxograma do processo

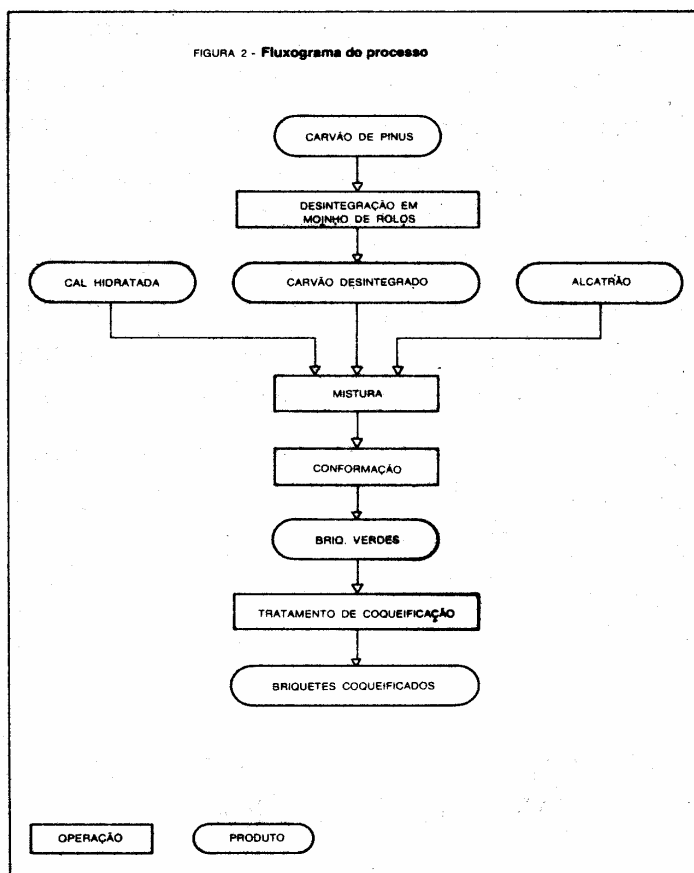


TABELA 9: Características dos briquetes produzidos, comparados às do carvão de *Pinus* e de *Eucalyptus*

Discriminação do ensaio			Carvão de <i>Pinus</i> (1)	Carvão de <i>Eucalyptus</i> (2)	Briquetes de Carvão de <i>Pinus</i>
Teor de umidade (%)			5,8	5,4	
Densidade empilhamento-finos (kg/m ³)			186		412
Densidade empilhamento-graúdos (kg/m ³)			134	250	
Densidade aparente (g/mdc)			0,22	0,59	0,82
Densidade real (g/cm ³)			1,50	1,41	1,84
Porosidade (%)			85,33	58,16	55,43
Resistência à compressão (kgf/cm ²)	Axial		41	107	97
	transversal		7	21	91
Poder calorífico superior (kcal/kg)			7447	7200	74,58
Análise imediata (%)	carbono fixo		74,63	71,6	91,67
	mat. volátil		25,03	21,7	3,86
	cinzas		0,33	2,3	4,47
Shatter test	Peneiras (% retirada acumulada)	2"	33,6		
		1 1/2"	70,8		66,6
		1"	89,1	88,9	81,8
		3/4"		95,1	89,7
		1/2"	94,3	96,7	89,7
Tumbler test	Peneiras (% retirada acumulada)	1/4"		97,8	92,6
		1"	32,2		20,7
		1/2"		43,5	35,8
		1/4"	47,7		40,4
		1/8"		47,8	42,9
(1) Obtido no forno de alvenaria pela ESALQ/USP					
(2) Obtido em fornos de alvenaria convencionais.					

CONCLUSÕES

As seguintes principais conclusões que podem ser tiradas desta pesquisa sobre produção de carvão vegetal são:

a) O carvão de *Pinus* das três espécies testadas apresentou rendimentos de carbonização inferiores àqueles normalmente obtidos para as espécies tradicionais de eucalipto. Dentre as três espécies o melhor rendimento foi alcançado com o uso de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

b) Em termos físico-mecânicos, o carvão das três espécies de *Pinus* apresentou densidades inferiores às densidades apresentadas por espécies de eucalipto e normalmente citadas na literatura. Os valores mais elevados de densidade foram mostrados pelo carvão de *Pinus oocarpa*, refletindo dessa forma a maior densidade também apresentada pela sua madeira. O carvão das três espécies, no entanto, mostrou comportamento muito bom no que diz respeito à resistência a choques indicada pelo teste de tamboramento, como também mostrou uma granulometria apropriada para uso siderúrgico.

c) Com relação à composição química imediata, o carvão das espécies testadas mostrou resultados que podem ser considerados notáveis.

d) Finalmente, conclui-se portanto, que para fins siderúrgicos a utilização do carvão vegetal obtido a partir de madeiras de *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. oocarpa* deverá levar como conseqüência a um maior consumo de madeira para conversão a carvão e uma existência de maior consumo de carvão para redução de minérios, principalmente causados pelo menor rendimento de carbonização e menor densidade do carvão. Afora esses aspectos, tecnicamente no entanto, o carvão de *Pinus* poderá ser utilizado em siderurgia.

Os ensaios de briquetagem de carvão de *Pinus* executados em escala de laboratório possibilitaram a seguinte definição das condições de preparação com vistas à otimização das características mecânicas do produto:

a) No ajuste granulométrico do carvão de *Pinus*, que apresente baixa quantidade de finos gerados, o moinho de rolos é um equipamento que atende a esta condição.

b) Para os briquetes suportarem solicitações mecânicas sob temperaturas elevadas, o ligante indicado é o alcatrão. Para possibilitar também, aplicações domésticas, o alcatrão empregado deve ser de origem vegetal. Uma eliminação de sua água contida se faz necessária até um teor de 5% máx.

c) Para a obtenção de briquetes de carvão de *Pinus* com resistência ao manuseio, a quantidade de alcatrão deverá corresponder a quarenta partes em peso para cada 100 partes em peso de carvão a conformar .

Para obtenção de resistência ao manuseio à verde, deve-se adicionar 1,5 partes em peso de cal hidratada para cada 100 partes em peso de carvão a processar.

d) Pode-se utilizar um misturador de baixa intensidade (de galgas, tipo Simpson, por exemplo), de operação por batelada, com duração de 30 minutos cada.

e) A pressão de compactação para a briquetagem deve situar-se acima de 300 kgf/cm².

f) O tratamento final de eliminação das matérias voláteis do ligante deve ser efetuado em fornos com atmosfera não oxidante, segundo uma temperatura mínima de 400°C. Temperatura mais elevada, da ordem de 900°C irá resultar em resistência mecânica mais elevada.

g) O tempo de permanência dos briquetes na temperatura de tratamento não deve ser inferior a 30 minutos.

Finalmente, pode-se dizer que a quantidade ligante é um dos principais fatores que influenciam na qualidade do briquete. Bons resultados podem ser obtidos com 40 partes de alcatrão da babaçu e 1,5 partes de cal hidratada.

Visando economia de energia, os ensaios relativos às temperaturas de tratamento térmico e tempo de exposição ao mesmo, demonstraram que em temperaturas mais baixas e com menores tempos de residência dos briquetes no forno, obtém-se resultados satisfatórios. Utilizando-se 400°C para a temperatura do tratamento térmico, por 30 minutos, ainda são produzidos briquetes de boa resistência à compressão.

Finalmente, pode-se observar que as pressões de compactação não influem decisivamente na qualidade dos briquetes. Sendo bastante razoável a adoção do valor intermediário de 300 kgf/cm².

A produção de briquetes coqueificados em escala piloto resultou em material de qualidade superior e de densidade maior em relação ao carvão convencional. Diante das características físico-químicas dos briquetes produzidos, e principalmente diante da boa resistência mecânica apresentada, pode-se concluir pela viabilidade de sua utilização industrial e no uso doméstico.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS. Siderurgia Brasileira , a Carvão Vegetal. São Paulo, 234 p. 1972.

BRITO, J. O. & BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: 2. Densidade da madeira x densidade do carvão. I P E F, Piracicaba, (20): 121-6, 1980.

CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL. Resultados de 20 estudos dos produtos da destilação das madeiras amazônicas. 32 p. 1972.

JUVILLAR, J. B. A carbonização descontínua da madeira em fornos de alvenaria. 1ª Jornada Técnica Brasil-França sobre Uso de Biomassa na Siderurgia. Belo Horizonte, nov. 1981.