

RESUMO

Algumas características de madeiras da região de Manaus, no Amazonas foram determinadas, como identificação anatômica, densidade básica e umidade, visando reconhecer o material para produção de carvão vegetal. Identificou-se 28 famílias botânicas sendo que 50% do material foi representado por Anonaceae, Lecythidaceae e Sapotaceae. Quanto a gênero, encontrou-se 43, destes sobressairam-se *Miconia*, *Guateria*, *Brosimum*, *Goupia* e *Eschweilera*, representando 38% das madeiras. As espécies *Goupia glabra*, *Aldina heterophylla*, *Jacaranda copaia*, *Diplotropis purpurea* e *Tapirira guianenses* foram as de maior ocorrência na madeira estudada. A densidade básica média foi 0,73 g/cm³ e a umidade média, sendo a madeira seca ao ar livre, ficou em 24,16% base úmida. A madeira foi carbonizada em fornos de alvenaria e do carvão obtido determinou-se características físicas e químicas. Os resultados médios foram: tamanho médio 45,30mm; friabilidade 15,46% de finos gerados menor que 13 mm e índice de quebra de 39,13%; tensão máxima de ruptura foi 43,36kgf/cm²; densidade aparente 0,51 e verdadeira 1,48; porosidade 65,28%; umidade 6,80%; matérias voláteis 17,65%; cinzas 2,29%; carbono fixo 80,06% e poder calorífico superior 6.826 Kcal/kg.

INTRODUÇÃO

Com o advento da crise energética mundial, surgiu em todo o planeta, a necessidade de realizarem-se esforços consideráveis no estudo e desenvolvimento de fontes alternativas de energia, entre as quais se conta a biomassa, que abarca toda matéria orgânica em geral e os vegetais em particular.

O carvão vegetal e mesmo a madeira estão em crescente valorização no Brasil como insumos energéticos. Levando-se em conta a tradição do país como grande produtor de carvão vegetal, este produto de carbonização da madeira, encontra-se uma aplicação diversificada em função de suas características. Na Amazônia, a atividade da carbonização tende a aumentar abruptamente em função da possibilidade de colocação do carvão vegetal no

(*) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, Manaus - AM.

mercado externo e da sua crescente demanda na região. Em realidade, a região dispõe de excessiva oferta de matéria prima, quer em floresta propriamente dita ou nos volumosos resíduos originários de desmatamentos agropastoris e de indústrias florestais. De resto, estudo de carbonização e atuação no controle de qualidade, apoia, logisticamente, o desenvolvimento desta atividade no Norte do Brasil. Regionalmente, quase nada existe em relação a dados e estudos de carvão vegetal (Silva & Correa, 1983).

No que tange aos modelos de fornos de carbonização empregados no Brasil, diversos autores em diferentes trabalhos afirmam que toda a produção brasileira de carvão vegetal é obtida através de fornos de alvenaria, tipo superfície. Santana & Assumpção (1971) justificam o uso deste modelo de forno por ser de baixo custo e permitir a fabricação do carvão na própria área da extração da matéria prima. Pesquisadores do CETEC (1982), em diversos trabalhos sobre carvoejamento, demonstram que nestes fornos parte da madeira é queimada durante a carbonização e torna-se muito difícil o controle do processo por suas características e por outro lado pela própria matéria prima, dando como consequência um produto de propriedades bastante variadas. A madeira, obviamente, tem influência direta nas propriedades do carvão vegetal. Para Suiter Filho *et al.* (1983), floresta energética, isto é, floresta de plantio puro aos 3 anos de idade e floresta normal (7 anos) produzem carvão distintos. O carvão da floresta energética é mais leve, menor friável e apresenta uma menor quantidade de carbono fixo por unidade de volume. Brito *et al.* (1983) trabalhando com 9 espécies diferentes de *Eucalyptus* de mesma idade e carbonizando-as em mesma condição de carbonização, encontrou sensível variação nas propriedades do carvão, a saber: densidade aparente, composição química e em produtividade.

No que tange às propriedades do carvão vegetal, elas estão intimamente ligadas aos parâmetros do processo de produção que lhe deu origem. Assim, o conhecimento deste parâmetro e seu controle serão de grande utilidade na fabricação e escolha do carvão vegetal para ser usado em diferentes fins (Mendes *et al.*, 1982)

O ensaio granulométrico tem a finalidade de verificar o tamanho médio do carvão e a proporção de finos existentes. Segundo os mesmos autores, o tamanho médio do granel do carvão vegetal é importante, pois, está usualmente relacionado com a possibilidade de uso no alto-forno. Assim como um alto-forno de maior porte deve possuir uma carga melhor preparada, o tamanho médio do carvão, deve ser maior do que o utilizado em fornos menores.

Para Mendes *et al.* (1982) o ensaio de compressão é utilizado para medir a resistência do carvão vegetal a fim de prever-se o seu comportamento mecânico quando submetido a uma carga. O carvão com maior resistência à compressão deverá apresentar uma menor degradação durante sua utilização. Assis, citado por Mendes *et al.* (1982) afirma que o carvão vegetal com baixa resistência mecânica, umidade elevada e alto teor de voláteis, sofre, quando em altos-fornos, uma degradação e alteração e por conseguinte sua distribuição granulométrica é afetada e assim reduz a permeabilidade de carga. O mesmo autor afirma que a resistência mecânica do carvão vegetal é da máxima importância devido as numerosas operações de manuseio e transporte que sofre durante o seu trajeto da carbonização até no equipamento da utilização.

Mendes **et al.** (1982) verificou que a friabilidade ou seja a maior ou menor resistência do carvão vegetal a geração de finos está relacionada com o condicionamento da madeira antes da carbonização a saber: umidade, diâmetro e comprimento. A carbonização rápida de madeira com maior teor de umidade tende a produzir carvão menos estável. Já é bastante conhecida a influência do diâmetro da madeira na susceptibilidade de formação de trincas durante a carbonização. Tomando uma matéria mais frágil, durante o manuseio há maior produção de finos, bem como durante a carbonização. As trincas e fissuras internas do carvão constituem-se em zonas de concentração de tensão, e segundo Tarkow, citado por Mendes **et al.** (1982), a fonte de tais concentrações pode ser atribuída à grande impermeabilidade da região central, o cerne das peças de madeiras.

O teste normalmente utilizado para medida da friabilidade do carvão vegetal, procura caracterizá-lo do ponto de vista da geração de finos durante o seu manuseio. Por isso, o teste de tamboreamento utilizado para determinação da friabilidade é, importante já que permite comparação entre carvão e produzido, a partir de diferentes matérias primas, e condições de carbonização. Com este teste podem estabelecer-se condições que, certamente irão produzir carvão mais ou menos friável (Mendes **et al.** (1982).

Quanto à densidade, esta varia conforme a técnica de medida. Todas as medidas de densidades são importantes na caracterização do carvão vegetal, pois as suas propriedades estão relacionadas intimamente com a sua densidade. Não havendo prejuízo para outras propriedades, a densidade deve ser a maior possível, pois ela determina entre outras coisas, o volume ocupado pelo carvão nos aparelhos de redução e gaseificação (Mendes **et al.**, 1982)

Com relação ao teor de umidade, este depende naturalmente das condições meteorológicas e do tipo de armazenamento. A umidade contida no carvão exerce uma grande influência no rendimento dos processos em que ele é utilizado (Earl, 1975 e Matos **et al.**, 1982).

A determinação de materiais voláteis, carbono fixo e cinza é objeto da análise química imediata. A composição química do carvão vegetal depende da temperatura de carbonização e da espécie da madeira. Quando se efetua a determinação do teor de materiais voláteis parte do carbono sai junto com os gases, como elemento formador de moléculas de CO e CO₂ e dos hidrocarbonetos. Uma outra quantidade de carbono é responsável pela formação da massa amorfa (carvão), permanecendo fixo. E finalmente a cinza é o resíduo de compostos minerais obtido pela combustão completa do carvão (Gomes & Oliveira, 1980).

O conteúdo de carbono na madeira é, aproximadamente, 50% do seu peso seco, e o conteúdo final do carbono fixo no carvão vegetal é de 20 a 40% do peso seco da madeira original, o que indica que parte do carbono é oxidado e se perde no processo de carbonização (Earl, 1975).

Em estudos realizados, Mendes **et al.** (1982) mostram como variam os teores de carbono fixo e matérias voláteis, bem como o rendimento do processo de carbonização em função da temperatura final de carbonização. O aumento do teor de carbono fixo como aumento de temperatura implicam em uma diminuição no rendimento de carbonização assim como diminuí progressivamente o teor de matérias voláteis.

Trossero (1981) afirma que o teor de carbono e o poder calorífico no carvão é função direta da temperatura de carbonização. Todavia Mendes **et al.** (1982) trabalhando com temperatura de 300, 500 e 700 °C, verificaram que o poder calorífico do carvão foi maior à temperatura 500°C, enquanto que o carvão produzido a 700°C tem um poder calorífico maior que o produzido a 300°C.

Este trabalho destina-se, principalmente, a conhecer as características físico-químicas do carvão vegetal produzido em forno de alvenaria, utilizando madeiras amazônicas oriundas da região de Manaus no Estado do Amazonas.

Visando conhecer melhor as madeiras utilizadas no presente trabalho, determinou-se algumas características como identificação e distribuição a nível de espécie, gênero e família botânica, densidade básica e umidade.

MATERIAL E MÉTODOS

A matéria prima e algumas características

No presente trabalho, utilizaram-se madeiras provenientes da região de Manaus. Procurou-se a madeira obedecendo sua distribuição natural na floresta, apenas evitou-se utilizar espécies reconhecidamente de alto interesse para beneficiamento industrial. A exploração foi através de corte raso, seguido de seccionamento de aproximadamente 1,0 (um) metro de comprimento, secagem ao ar livre de 90 a 120 dias e procedendo transporte em caminhão de carga comum, até os fornos. Inicialmente, visando maior conhecimento das madeiras a serem carbonizadas, coletaram-se cerca de 600 amostras em forma de discos para serem identificadas anatomicamente determinando família botânica, gênero e espécie, através de mateiros e no laboratório, cortes em lâminas. Paralelamente, coletaram-se mais 800 amostras também em forma de discos com objetivo de determinar a densidade básica da madeira utilizada na carbonização. Esta densidade foi obtida, utilizando o método do máximo teor de umidade. Os discos foram seccionados formando 4 partes em forma de cunhas.

A carbonização

Dada a grande variação diamétrica do material a ser carbonizado, fez-se uma classificação da madeira em 3 (três) classes de diâmetros distintas, a saber: menor que 15cm, de 15 a 25 cm e maior que 25 cm. Fizeram-se 3 (três) carbonizações para cada classe diamétrica e mais 3 (três) utilizando madeiras de qualquer diâmetro, que denominamos de misturas. Efetuou-se um total de 12 carbonizações.

Ainda com objetivo de especificar melhor a madeira utilizada no presente trabalho, no momento do carregamento dos fornos, procedeu-se a medida do comprimento e diâmetro das peças de madeiras e colheram-se amostras com o objetivo de determinar a umidade da madeira, no momento de iniciar a carbonização. Estas amostras, assim que colhidas eram colocadas em sacos plásticos vedados até o instante de determinar a umidade.

No processo de carbonização foram utilizados 4 (quatro) fornos de alvenaria tipo superfície.

Ensaio no carvão vegetal

De cada carbonização, coletou-se a amostra de carvão vegetal e efetuaram-se os seguintes testes para sua caracterização:

- Determinação granulométrica: norma NBR 7402/82 (ABNT);
- Tamboramento: segundo CETEC (1982);
- Determinação do Índice de quebra: norma NBR 7416/82 (ABNT);
- Resistência à compressão: utilizaram-se amostras em forma de paralelepípedo com secção de 10 x 14 mm² e comprimento de 70 mm, sendo a área de aplicação de carga de 980 mm² (70 x 14 mm²). A compressão foi realizada por uma máquina "INSTRON", modelo 1125" com aplicação uniforme de carga. Usaram-se duas velocidades de aplicação de carga, 0,05mm/min e 0,30mm/min.;

- Densidade: determinaram-se duas densidades, a relativa aparente e a relativa verdadeira. Seguiu a metodologia do CETEC (1982), que é baseada na norma ASTM D-167-73 "Specific Gravity and Porosity of Lump Coke";

- Porosidade: obtida da relação densidade relativa aparente e densidade relativa verdadeira, usando-se a fórmula:

$$\text{Porosidade (\%)} = 100 - 100 \frac{\text{densidade relativa aparente}}{\text{densidade relativa verdadeira}}$$

- Análise química imediata: ASTM D-1762-64 "Chemical Analysis of Wood Charcoal";
- Poder calorífico: ASTM D-2015-77 "Gross Calorific Value of Solid Fuel by the Adiabatic Bomb Calorimeter".

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, são apresentadas, algumas características da madeira carbonizada e, a seguir os resultados dos ensaios realizados no carvão vegetal.

Características da madeira carbonizada

BOTÂNICA

Acha-se no Quadro I, a relação referente ao levantamento de famílias botânicas e gêneros. De um total de 28 famílias encontradas, a Anonaceae, Lecythydaceae e a Sapotaceae representam aproximadamente 50% do material carbonizado.

Com relação aos 43 gêneros identificados, sobressairam-se *Miconia*, *Guateria*, *Brosimum*, *Goupia* e *Eschweilera*, representando 38% das madeiras.

Quadro 1. Participação relativa de famílias botânicas e gêneros referentes a madeira carbonizada.

Família Botânica	Porcentagem relativa	Gênero	Porcentagem relativa
ANONACEAE	17,80	Guateria Anona	8,33 0,83
LECYTHIDACEAE	17,10	Couratarí Holopyxidium Eschweilera Gustavia Cariniana	0,42 3,33 6,25 0,42 0,42
SAPOTACEAE	12,04	Micropholis Eclinusa Pouteria	0,83 3,75 0,42
ANACARDIACEAE	7,51	Tapirira	1,67
L. CAESALPINOIDEAE	6,98	Macrolobium Aldina Voucapoua Swartzia Eperua Tachigalia	2,92 5,41 3,75 3,33 0,83 0,42
ANACARDIACEAE ou ARALIACEAE	6,63		
MELASTOMATACEAE	4,89	Miconia	9,58
MORACEA	4,89	Brosimum Pseudomedia Maquirá Sorocea	7,50 1,67 1,25 1,25
CHRYSOBALANACEAE	4,02	Licania	2,50
CELASTRACEAE	2,62	Goupia	6,25
L. MIMOSIDEAE	2,27		
L. PAPILIONATAE	1,92	Diploptropis Andira	3,33 0,83
BURSERACEAE	1,75	Protium Tetragastris	2,50 1,25
HUMIRIACEAE	1,75	Sacoglottis	3,75
BIGNONIACEAE	1,57	Jacaranda	3,33
FLACOURTIACEAE	1,40	Laetia	3,33
MIRISTICACEAE	1,05	Trypanthera Virola	0,42 0,83
APOCYNACEAE	0,87	Couma	2,08
EUPHORBIACEAE	0,87	Hevea	1,25

continuação (Quadro I).

Família Botânica	Percentagem relativa	Gênero	Percentagem relativa
RUBIACEAE	0,53		
VOCHYSIACEAE	0,35	Qualea	0,83
BOMBACACEAE	0,17	Bombacopsis	0,42
COMBRETACEAE	0,17	Buchenaria	0,42
LAURACEAE	0,17	Ocotea	0,42
MELIACEAE	0,17	Trichilia	0,42
POLYGONACEAE	0,17	Ruprechtia	0,42
SIMARUBACEAE	0,17	Simaba	0,42
GUTTIFERAE	0,17	Vismia	0,42
Total	100,00	Total	100,00

Em ordem decrescente, as espécies *Goupia glabra* (cupiuaba), *Aldina heterophylla* (macucu), *Jacaranda copaia* (caroba), *Diploporis purpurea* (sucupira de terra firme), *Tapi- rira guianenses* (pau-pombo), *Macrolobium acaciaefolium* (arapari), foram as de maior ocor- rência para as madeiras carbonizadas. Há de ressaltar-se que do total das amostras (800), uma grande parte não chegou a ser identificada, a nível de gênero e principalmente de es- pécie.

DENSIDADE DA MADEIRA

No Quadro II, tem-se a distribuição da densidade por classe diamétrica e verifi- ca-se uma concentração de 86,62% de madeiras com densidade entre 0,61 a 0,90 g/cm³ e uma média de 0,73 g/cm³.

Quadro II. Densidade básica da madeira carbonizada.

Classe de Densidade (g/cm ³)	Nº de amostras (dis- cos)	Densidade média/clas- se (g/cm ³)	Distribuição relativa (%)
até 0,50	24	0,40	3,00
0,51 à 0,60	60	0,57	7,50
0,61 à 0,70	192	0,65	24,00
0,71 à 0,80	314	0,75	39,25
0,81 à 0,90	187	0,84	23,37
0,91 à 1,00	21	0,93	2,63
Superior à 1,00	2	1,35	0,25

UMIDADE DA MADEIRA

Do corte até a carbonização, a madeira foi deixada ao ar livre por um período de 90 a 120 dias, obviamente visando secagem natural. A umidade da madeira foi determinada no instante do preenchimento dos fornos. Como se vê no Quadro III, as madeiras mais grossas encontram-se com maior teor de umidade.

Quadro III. Teor de umidade da madeira no instante do carregamento dos fornos.

Classe Diamétrica	Umidade Média (%)
Menor que 15 cm	20,47
De 15 à 25 cm	24,20
Maior que 25 cm	29,17
Misturas	22,79

DIMENSÕES DA MADEIRA

O comprimento médio das peças de madeira carbonizada foi abaixo de 1,00 metro; todavia ela é adquirida como se tivesse a metragem de 1,00 m, o que vale dizer que o volume real é menor que o nominalmente comprado.

Quadro IV. Dimensões média da madeira utilizada.

Classe Diamétrica	Comprimento médio das peças (m)	Diâmetro médio das peças (cm)
Menor que 51 cm	0,95	9,20
de 15 à 25 cm	0,86	20,82
Maior que 25 cm	0,81	28,85

Características do Carvão Vegetal

GRANULOMETRIA

O tamanho médio de todo carvão ensaiado foi de 45,29 mm. Este resultado é ligeiramente superior ao fragmento médio de carvão vegetal oriundo de florestas de *Eucalyptus* de sete anos de idade, que segundo Suiter Filho *et al.* (1983) é 44 mm. Como houve manuseio e transporte anterior à análise granulométrica, é possível ter havido quebras e geração de finos com conseqüente redução no tamanho do carvão. Há de supor-se que o tamanho médio deverá ser ainda maior que este encontrado.

Quadro V. Granulometria média do carvão vegetal.

C L A S S E D I A M E T R I C A									
Abertura da Malha (mm)	Menor que 15cm		De 15 à 25cm		Maior que 25cm		Mistura		Porcentagem acumulada
	Porcentagem do retido	Porcentagem acumulada	Porcentagem do retido	Porcentagem acumulada	Porcentagem do retido	Porcentagem acumulada	Porcentagem do retido	Porcentagem acumulada	
101,60	8,36	8,36	13,82	13,82	2,90	2,90	8,40	8,40	8,40
76,20	9,36	17,72	12,00	25,82	7,01	9,91	10,03	10,03	18,43
63,50	8,00	25,72	9,66	35,48	7,97	17,88	7,74	7,74	26,17
50,80	17,72	43,44	14,45	49,93	14,09	31,97	17,76	17,76	43,93
38,00	17,14	60,58	9,93	59,86	12,71	44,68	15,89	15,89	59,82
31,70	11,42	72,00	5,17	65,03	9,67	54,35	3,27	3,27	63,09
19,10	9,71	81,71	14,45	79,48	11,88	66,23	10,28	10,28	73,37
15,90	2,00	83,71	3,46	82,94	8,84	75,07	7,47	7,47	80,84
12,70	4,00	87,71	2,77	85,71	7,18	82,25	5,14	5,14	85,98
9,52	2,00	89,71	2,13	87,84	3,59	85,84	2,34	2,34	88,32
7,93	0,57	90,28	1,44	89,28	2,65	88,49	1,87	1,87	90,19
6,35	0,29	90,57	1,71	90,39	2,76	91,25	1,87	1,87	92,06
Panela	9,43	100,00	9,01	100,00	8,75	100,00	7,49	7,49	100,00
Tamanho médio (mm)		47,04		49,61		38,13		46,36	

FRIABILIDADE (resistência à abrasão e quebra)

No Quadro VI, são apresentados os resultados dos testes de tamboramento e queda no carvão vegetal. Observa-se que a quantidade de finos gerada no tambor rotativo aumentou, à medida que foram maiores os diâmetros das madeiras carbonizadas.

Ainda pelo teste de tamboramento, nota-se uma variação mais elevada na classe diamétrica de 15 a 25 cm. O carvão oriundo de madeiras carbonizadas, em mistura, ficou em 15,57% de finos gerados, que é um valor próximo de 14,25% referente à classe de diâmetro médio. Para ter-se uma idéia comparativa entre este resultado e o de carvão oriundo de *Eucalyptus* de 10 anos de idade, carbonizado em forno-retorta, a temperatura de 500°C, pesquisadores do CETEC obtiveram em média 14,6% de finos abaixo de 13 mm. O maior percentual de finos gerados foi do carvão proveniente de madeira de maior diâmetro. Espécies de maior diâmetro durante processo de carbonização tendem a dar carvão com mais trincas e conseqüentemente gerando mais finos

Quadro VI. Resultados médios de teste de tamboramento e teste de queda.

CLASSE DE DIÂMETRO	TESTE DE TAMBORAMENTO		TESTE DE QUEDA
	(%) de finos gerados menor que 13 mm	Coefficiente de variação (%)	Índice de Quebra (%)
Menor que 15 cm	13,00	8,59	40,78
de 15 a 25 cm	14,25	18,02	40,43
Maior que 25 cm	19,04	4,02	37,36
Mistura	15,57	2,09	37,95

Com relação à resistência à quebra, o carvão produzido de madeira mais finas apresentou-se menos resistente em relação ao carvão proveniente de mistura e de madeira de maior diâmetro. No ensaio de queda, o carvão de menor granulometria deu menor índice de quebra. Relativamente tem-se que quanto menor a granulometria do carvão, mais resistente à quebra ele seja.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Para o ensaio de resistência à compressão, não se obedeceu critério por classe de diâmetro e mistura. Fez-se uma mistura de todo o carvão e retiraram-se os 06 (seis) corpos de provas.

Quadro VII. Resultado de teste de compressão de flanco.

Corpo de Prova	Área de aplicação da carga (cm ²)	Tempo de aplicação (minuto)	Velocidade aplicação (mm/min)	Tensão máxima de ruptura (Kgf/cm ²)	Média Kgf/cm ²
01	98	14,38	0,05	32,32	
02	98	12,35	0,05	53,53	
03	98	10,90	0,05	37,74	41,20
04	98	1,40	0,30	50,70	
05	98	4,06	0,30	43,17	
06	98	2,56	0,30	46,13	46,67

Oliveira *et al.* (1982) trabalhando no CETEC com madeira de *Eucalyptus* obteve carvão através de retorta elétrica no qual aplicando o teste de compressão com velocidade de 0,05 mm/min em corpo de prova de 956,70 mm², a tensão de ruptura foi de 20,3 Kgf/cm². Resultado este que foi a metade do obtido nos testes de compressão realizado no presente trabalho. Esta diferença a favor do carvão de madeiras da região de Manaus, possivelmente, é dada pelas características físico-químicas da madeira e ainda, pela temperatura de carbonização. Outra característica importante é a idade das espécies. Não foi estimada idade das madeiras a serem carbonizadas, mas certamente a média geral da idade é bem superior a idade de *Eucalyptus* para carvoejamento. E espécies mais velhas poderão resultar em carvão mais resistente.

DENSIDADE E POROSIDADE

Do Quadro VIII, deduz-se que em termos de densidade do carvão vegetal das madeiras amazônicas, é mais denso que carvão oriundo de florestas de Eucalyptos e em contrapartida é este o mais poroso.

Quadro VIII. Resultado médio da densidade relativa aparente, densidade relativa verdadeira e porosidade.

Classe de Diâmetro	Dens. relativa aparente	Coefficiente de variação	Dens. relativa verdadeira	Coefficiente de variação	Porosidade (%)	Coefficiente de variação
< 15 cm	0,51	8,32	1,53	2,31	66,79	3,00
15 a 25 cm	0,54	7,86	1,47	1,44	63,41	3,71
> 25 cm	0,51	1,39	1,44	2,45	64,09	2,15
Mistura	0,49	1,44	1,47	1,04	66,67	0

A madeira amazônica utilizada no presente trabalho contém uma densidade média de

de 0,73g/cm³ que é um valor alto quando comparado com madeira oriunda de florestas homogêneas de Eucalipto, que normalmente possui densidade menor. A densidade do carvão vegetal é diretamente correlacionada com a densidade do material carbonizado. Daí termos no carvão de floresta nativa, caso amazônico, uma densidade maior, que sem prejuízo para outras propriedades significa um melhor carvão para fins energético e siderúrgico.

ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA

Através do Quadro IX, interpreta-se que em termos de teores de voláteis, cinzas e carbono obteve-se bom resultado médio. Verifica-se que em matérias voláteis houve uma maior variação dos dados. As amostras oriundas de madeira de 15 a 25cm de diâmetro apresentaram um resultado médio para voláteis maior, assim como maior coeficiente de variação. Em contra partida, estas mesmas amostras produziram o menor teor de cinza e carbono fixo.

Considerando que do ponto de vista químico, o carvão vegetal de melhor qualidade deve possuir maior teor de carbono, as madeiras de diâmetros menor que 15 cm e em misturas produziram um melhor carvão ou seja, teor de carbono fixo mais alto.

Quadro IX. Resultado médio de análise química imediata (base seca).

Classe de Diâmetro	Matérias voláteis (%)	Coeficiente var. (%)	Cinza (%)	Coeficiente var. (%)	Carbono fixo (%)	Coeficiente var. (%)
< 15 cm	12,07	16,05	2,37	4,47	85,56	2,14
15 à 25cm	25,11	24,64	0,56	18,94	74,33	7,51
> 25 cm	11,69	11,15	2,87	4,87	79,44	2,66
Mistura	15,74	5,79	3,35	8,59	80,91	1,07

Quadro X. Análise química imediata de nove espécies de Eucalyptus carbonizadas com dez anos de idade em Salesópolis (SP).

Espécies	Materiais voláteis(%)	Cinza (%)	Carbono fixo (%)
<i>E. pilularis</i>	24,6	0,52	74,8
<i>E. triantha</i>	23,9	1,80	74,3
<i>E. microcorys</i>	28,5	0,30	71,2
<i>E. gummifera</i>	27,2	0,31	72,6
<i>E. pellita</i>	26,3	0,42	73,3
<i>E. globulus</i>	27,1	0,86	74,0
<i>E. saligna</i>	27,1	0,70	72,2
<i>E. grandis</i>	28,7	0,14	71,2
<i>E. saligna-M</i>	27,0	0,85	72,2

Fonte: Brito et al. (1983).

Comparando-se com o *Eucalyptus* (Quadro X), observa-se que no carvão oriundo de madeiras do município de Manaus foi encontrado um maior teor de carbono fixo e cinza e menor teor de matérias voláteis, isto para um mesmo processo de carbonização. Significa que o carvão proveniente de floresta nativa da região de Manaus possui melhor qualidade quando leva em consideração o conteúdo de carbono fixo.

O maior teor de cinzas verificado no carvão estudado é devido, sobretudo, o material utilizado, que certamente possui maior idade em relação as florestas implantadas com Eucalipto. A madeira a medida que envelhece tende a possuir maior quantidade de cerne e ao ser carbonizada, possivelmente, vai gerar um carvão com maior teor de cinzas. Do ponto de vista do conteúdo de cinzas o carvão de floresta estudado é inferior, sem contudo ser limitante o seu emprego.

Quadro XI. Teor de umidade (base seca) do carvão vegetal.

Classe de diâmetro	Umidade (%)	Coefficiente de variação (%)
< 15 cm	8,22	18,42
de 15 à 25 cm	5,98	11,66
> 25 cm	6,02	15,93
Mistura	6,99	6,21

A umidade foi determinada alguns dias após a carbonização sendo que o carvão ficou armazenado em um galpão fechado, mas sujeito a variação climática. Foi observado que com 2 a 3 dias após a carbonização ele ganha entre 5 e 6% de umidade e estabelece uma faixa de variação que vai de 6 a 11%, na condição de galpão.

PODER CALORÍFICO

No Quadro XII, tem-se os resultados referentes ao poder calorífico superior e inferior. Este resultado foi ligeiramente inferior uma vez que Doat & Petroff (1975) afirmam que o carvão de madeira a 7% de umidade, o poder calorífico situa-se entre 7000 a 7500 Kcal/kg. Contudo, é válido ressaltar que os resultados foram bastante variados. Esta variação se deve a vários parâmetros tais como madeira (muito heterogênea), velocidade e temperatura de carbonização e principalmente falta de controle através dos fornos.

Quadro XII. Poder calorífico superior e inferior (base seca).

Classe de diâmetro	Poder calorífico superior (Kcal/kg)	Coefficiente de variação (%)	Poder calorífico inferior (Kcal/kg)	Coefficiente de variação (%)
< 15 cm	6585	5,08	6029	5,55
de 15 à 25cm	6331	2,87	5775	3,15
> 25 cm	7470	9,19	6914	9,93
Mistura	6917	0,30	6361	0,32

CONCLUSÃO

Dada a heterogeneidade da madeira da região de Manaus, há enorme dificuldade de estabelecer determinados controles de carbonização na prática.

A madeira a ser carbonizada é seca ao ar livre, levando um tempo em torno de três a quatro meses e, ainda mantém um alto teor de umidade e boa parte fica em estado de apodrecimento que poderá prejudicar o rendimento e a qualidade do carvão.

Quanto a densidade da madeira houve grande concentração na faixa de 0,60 a 0,90g/cm³.

As famílias botânicas Anonaceae, Lecythidaceae, Sapotaceae, Anacardiaceae e Leguminosae Caesalpinoideae, representam 61% no total das espécies carbonizadas.

Quanto ao carvão vegetal produzido e ensaiado neste estudo conclui ser:

- de boa granulometria;
- não muito friável;
- bastante resistente;
- bastante denso;
- de porosidade regular;
- de bom teor de carbono fixo;
- de teores de cinza e voláteis dentro do desejado; e
- regular a bom, o poder calorífico.

Não obstante ser objetivo deste trabalho, num contexto geral, as madeiras carbonizadas em classes diamétricas diferentes não produziram diferenças nos ensaios de carvão realizado.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Refinaria da PETROBRÁS em Manaus, pela cessão de fornos, madeira e carvoeiros utilizados no presente trabalho, e ao Dr. Arthur Loureiro e equipe pela colaboração na identificação anatômica do material.

SUMMARY

Some wood characteristics from species of Manaus in the Amazonas State in Brazil, was determined for knowing the potential of raw material for the charcoal production. It were identified twenty eight botanical families, and fourthy three genus an the most important species for wood carbonization were: *Goupia glabra*, *Aldina heterophylla*, *Jacaranda copaia*, *Diploptropis purpurea* and *Tapirira guianensis*.

The specific gravity average was 0.73g/cm³ and the moisture average 24.16% wet basis, with the air drying wood. The wood was carbonised in beehive kiln and from the charcoal

obtained was determined the physical and chemical characteristics. The average results were: mean size 45.30 mm; friability 15.46% of the production of charcoal fines was minor than 13mm and the breaking index was of 39.13%; the maxime tensica of breaking 43.36kgf/cm²; the apparent density 0.51 and the real density 1.48; porosity 65.28%; humidity 6.80%; volatiles materials 17.65%; ash 2.29%; fixed carbon 80.06% and the superior calorific value 6,826Kcal/kg.

Referências bibliográficas

- Brito, J. O.; Barrichelo, L. E. G.; Miglidrini, A. J.; Seixas, F.; Muramoto, M.C. - 1983. Análise da produção energética e de carvão vegetal de nove espécies de *Eucalyptus*. **Revista Silvicultura** (Anais do 4º Congresso Florestal Brasileiro - Belo Horizonte, 10 à 15 de maio/82), 8(28):742-744.
- CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - 1982. **Carvão vegetal: destilação, carvoejamento, propriedades e controle de qualidades**. Belo Horizonte. [Série de Publicações Técnicas n. 006].
- Doat, J. & Petroff, G. - 1975. La carbonisation des bois tropicaux. **Revue Bois et Forêts des Tropiques**, 159: 55 - 72.
- Earl, D. E. - 1975. **Informe sobre el carbon vegetal**. Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion, Roma.
- Gomes, P. A. & Oliveira, J. B. - 1980. Teoria da carbonização da madeira. **Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC**. Uso da madeira para fins energéticos. [Série de Publicações Técnicas, 1:27-41].
- Machado, M. A. A. C. - 1982. Carvão vegetal, energia barata e abundante para a indústria. **Culturas Energéticas, Biomassa**, 1(1):22-27.
- Matos, M.; Almeida, M.; Oliveira, L. T. - 1981. Características dos produtos de carbonização da madeira. **Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC**. Gaseificação da madeira e carvão vegetal. [Série de Publicações Técnicas, 4:35-43].
- Mendes, M. G.; Gomes, R. A.; Oliveira, J. B. - 1982. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. **Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC**. Produção e utilização de carvão vegetal. [Série de Publicações Técnicas, 6:75-89].
- Oliveira, J. B.; Vivacqua, F. A.; Gomes, P. A. - 1982. Produção de carvão vegetal - Aspectos técnicos. **Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC**. Produção e utilização de carvão vegetal. [Série de Publicações Técnicas, 6:59-73].
- Santana, M. C. & Assumpção, R. M. V. - 1971. Pirólise de madeiras, matérias primas, produtos e aplicações. **IPT - Publicação**, 940:1-55.
- Silva, D. A. & Correa, M. C. - 1983. Pesquisa para utilização de carvão vegetal na Amazônia. In: Seminário da IUFRO/MAB/UFV (Viçosa). **O papel das florestas plantadas nos neo-trópicos como fonte de energia**.
- Suiter, F. W.; Rezende, G. C.; Mendes, C. J.; Moraes, T. S. A. - 1983. Florestas energéticas - Resultados. **Revista Silvicultura**. In: Anais do Simpósio IUFRO - Melhoramentos genético e produtividade de espécies florestais de rápido crescimento, 8(32): 653-656.
- Trossero, M. A. - 1981. Analisis de parametros de pirolisis de biomassa. Buenos Aires.

Instituto Nacional de Tecnologia Industrial/INTI, Departamento Termodinamica.

(Aceito para publicação em 22.03.1988)