

RESUMO

No presente trabalho, estudou-se o comportamento da turfa frente a pirólise, visando averiguar os efeitos da temperatura final, da taxa de aquecimento e do tempo de permanência na temperatura final no rendimento dos produtos sólidos (carvão), voláteis condensáveis e voláteis não-condensáveis e nas características do carvão obtido. Estas características foram densidade verdadeira, densidade aparente, porosidade, poder calorífico superior e os teores de matérias voláteis, de cinzas e de carbono fixo e também a taxa de redução granulométrica. Procedeu-se a pirólise em retorta elétrica de laboratório empregando as temperaturas de 300, 400, 500, 600, 700, 800 e 900°C, às taxas de aquecimento de 1, 3 e 5°C/minuto e tempo de permanência na temperatura final de 30 e 90 minutos. Pelos resultados observou-se que dos fatores testados na pirólise da turfa, a temperatura proporcionou maior efeito na variação dos rendimentos gravimétricos dos produtos e características analisadas no seu carvão. No geral, a turfa classificada acima de 10mm sofreu redução nessa granulometria a níveis de 40-45% após a pirólise. Quanto maior a temperatura final de pirólise, maior foi o rendimento em voláteis, a densidade verdadeira, a densidade aparente, o poder calorífico superior, o teor de cinzas e o teor de carbono fixo, enquanto foi menor o rendimento gravimétrico e o teor de matérias voláteis do carvão de turfa. A porosidade do carvão de turfa foi o parâmetro que apresentou-se menos influenciado pelos fatores testados. O poder calorífico foi correlacionado positivamente com a produção de voláteis durante a pirólise e com o teor de carbono fixo do carvão. A obtenção de turfa é viável com possibilidades múltiplas de aplicações, dadas as diferentes características obtidas.

INTRODUÇÃO

A turfa tem despontado como promissora fonte alternativa de energia. Os estudos sobre sua possível participação no leque de fontes novas e alternativas de energia vem

(\*) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, CP 478 - 69011 - Manaus, AM.

(\*\*) ESALQ/Universidade de São Paulo, Caixa Postal 9 - 13400 - Piracicaba, SP.

crescendo gradativamente. A turfa possui excelente distribuição geográfica com ocorrência em todo território nacional. O potencial brasileiro em termos de reservas de turfa é estimado em mais de 500 milhões toneladas equivalentes de petróleo que, comparativamente, representa o dobro da nossa reserva em gás natural e aproximadamente 70% da nossa reserva petrolífera. Em que pese sua potencialidade, as reais condições que envolvem o uso de turfa nacional como material energético, ainda são alvo de estudos iniciais no Brasil. No geral, as informações existentes são aquelas oriundas de outros países.

Segundo Larbalétrier (s.d.), a turfa é uma matéria esponjosa, marrom ou preta, que resulta da decomposição lenta, operada em meio aquoso, de vegetais diversos e as propriedades deste material variam muito com a natureza das plantas de origem e o grau mais ou menos avançado de decomposição. Este mesmo autor afirma que a turfa é uma substância interessante, pois tem usos múltiplos e forma, por assim dizer, a transição natural entre a matéria viva e a matéria mineral. Dadas as condições do material de origem e a sua composição atual, segundo Berthelot & Kling (1943), existe uma forte analogia entre a pirólise de turfa e de madeira, desde condições de temperatura, até a natureza dos produtos obtidos.

Brito & Barrichelo (1977), estudando a carbonização dos componentes individuais da madeira verificaram que a lignina apresentou rendimento mais elevado em carvão, em função da mesma ser um componente de estrutura complexa e muito resistente à pirólise. Assim, em função do teor de lignina que é deixado na composição da turfa, o rendimento gravimétrico em carvão de turfa deve ser sensivelmente maior em relação ao carvão vegetal obtido da madeira. Larbalétrier (s.d.) cita a obtenção de rendimento gravimétrico do carvão de turfa variando de 34 a 54%. Por sua vez, Silva & Brito (1987) em outro estudo sobre pirólise de turfas de três origens distintas e madeira de **Eucalyptus grandis** à temperatura final de 400-500°C e taxa de aquecimento de 50°C a cada 30 minutos, obtiveram rendimento gravimétrico em carvão em torno de 50%, mesmo descontando-se a influência do teor de cinzas como material inerte, valor este bastante superior que o obtido para a madeira. Com relação ao rendimento em voláteis condensáveis e não condensáveis, tais autores encontraram comportamento inverso ao rendimento em carvão. Segundo eles, a madeira apresenta na sua composição química original teor de matérias voláteis superior ao da turfa e que esta seria a razão para explicar o menor rendimento em voláteis por parte da turfa.

Tratando-se da pirólise de turfa, Fuchsman (1980) afirma que a baixas temperaturas, especialmente a 200-250°C, há rompimento de grupos carboxílicos, hemicelulose e ácidos húmicos e, no geral, em torno de 300-312°C ocorre quebra na estrutura de carboidratos, com produção de gases contendo principalmente água e dióxido de carbono, pequena quantidade de ácido acético, amônia e monóxido de carbono. O mesmo autor afirma que à temperatura superior a 300°C há ruptura de ligação carbono-carbono que formam os compostos inicialmente presentes na turfa, sendo a estrutura aromática dos ácidos húmicos rompidas, bem como há desarranjo na estrutura da lignina. Zhukov et al. (1980) explicam que a pirólise da turfa inicia-se em 150-200°C e a principal decomposição encontra-se nas temperaturas situadas entre 300 e 500°C. Para Bel'Kevich et al. (1971), a intensidade de

decomposição da turfa aumenta, no geral, com aumento na temperatura, sendo que de 150 a 250°C, com cinco horas de processo, o grau de degradação térmica vai de 2 a 25%.

Para baixo grau de aquecimento, a produção de substâncias voláteis depende da qualidade básica da turfa e temperatura final de pirólise. Chukanov et al. (1962) dizem que o rendimento em produtos voláteis aumenta gradualmente com aumento na temperatura a partir de 400-450°C, mas após 600°C, torna-se insignificante a variação no rendimento final deste produto.

Em pirólise de turfa, Korchunov citado por Fuchsman (1980) afirma: a) o rendimento e a qualidade dos produtos a baixa temperatura são influenciados pela taxa de aquecimento, pois esta determina a razão em que os fragmentos de baixo peso molecular reagem e recombina para formar compostos não voláteis de alto peso molecular; b) em taxa de aquecimento maiores, os fragmentos de turfa tendem a volatilizar mais rapidamente e conseqüentemente formam menor quantidade de substâncias de alto peso molecular; c) provavelmente, as substâncias de alto peso molecular são mais estáveis e sofrem pouca volatilização e, com isso, o rendimento em carvão de turfa decresce à medida que aumenta a taxa de aquecimento.

No que tange às propriedades e características do carvão de turfa, elas estão intimamente ligadas aos fatores do processo de produção que lhe deu origem. Silva & Brito (1987), verificaram que o carvão de turfa é mais denso e menos poroso em relação ao carvão de madeira de *Eucalyptus grandis* e a razão para tal é a turfa originalmente ter apresentado maior densidade em relação a madeira. Num trabalho relativo a temperatura final de degradação de turfa e o rendimento do resíduo sólido, Keppeler e Holfmann citados por Fuchsman (1980) utilizaram as temperaturas finais de 450 a 550°C e turfa com teor de umidade de 7,6%. Eles obtiveram 57,10% de produto sólido contendo 28,15% de voláteis e poder calorífico de 6932 kcal/kg à 450°C e a 550°C o rendimento foi de 43,50% tendo o conteúdo de voláteis de 17,50% e o poder calorífico de 7191 kcal/kg. Assim, depreende-se um comportamento similar da turfa em relação à madeira frente o processo de pirólise, quando se trata de rendimento, composição química e poder calorífico do produto carbonoso.

Chukanov et al. (1962), Wenzl (1970), Earl (1975), Mendes et al. (1982), Oliveira et al. (1982b) e Almeida (1983), afirmam que a elevação de temperatura provoca expansão dos gases, expulsando-os do interior do carvão, o que vem determinar um menor teor de voláteis e um maior teor de carbono fixo no produto final. Quanto a cinzas, Fuchsman (1980) menciona que o seu teor no produto residual vai depender do teor originalmente na turfa e das condições empregadas no processo.

Dada a relevância que a turfa pode vir a ser como fonte energética, acredita-se que ela deva ser estudada no sentido de se verificar o seu emprego como uma alternativa de consumo para os setores energético e metalúrgico-siderúrgico brasileiros. Um dos estudos básicos primeiros que se deva realizar sobre a turfa, visando-se a obtenção de carvão ou que é o estudo laboratorial da sua pirólise. Esta é a proposta geral deste trabalho cujos objetivos específicos são:

- a) caracterizar a turfa usada e determinar sua qualidade;
- b) determinar os rendimentos do processo de pirólise da turfa em relação a produção de carvão de turfa ...

ção de produtos sólidos, voláteis condensáveis e voláteis não condensáveis;

c) além dos rendimentos, determinar as características dos produtos sólidos obtidos, com ênfase sobre as influências da temperatura final, taxa de aquecimento e tempo de permanência na temperatura final.

## METODOLOGIA

Foi utilizada turfa procedente do município de Araranga/CS. As amostras de turfas foram retiradas de 6 pontos equidistantemente distribuídos à distâncias médias de 700 m em uma área piloto de 60 hectares, inserida numa turfeira de aproximadamente 2.000 hectares e com profundidade de 2 a 2,5 metros. Sobre a turfeira predominava vegetação rasteira, especialmente gramíneas, havendo também pequena faixa central com cobertura florestal. Escolheu-se esta origem de turfa por haver informações prévias quanto ao seu teor de enxofre que é relativamente baixo, grau de decomposição bastante avançado e facilidade de obtenção e trabalhos pioneiros na área.

A turfa na forma a granel com 70% do seu volume situada entre 10 e 30 mm foi coletada individualmente em cada ponto através de trado manual num perfil de 0,5 a 2,5 metros, a contar da superfície da turfeira. As amostras coletadas foram misturadas perfazendo uma amostra final com volume equivalente a 200 litros. A turfa foi inicialmente seca ao ar livre, homogeneizada e posteriormente seca em estufa a  $\pm 105^{\circ}\text{C}$ . Portanto, o material foi utilizado absolutamente isento de umidade.

A caracterização da turfa foi efetuada através da determinação dos teores de matérias voláteis, de cinzas e de carbono fixo, densidade, porosidade, poder calorífico superior, cujos métodos de determinação foram os mesmos empregados na análise do carvão. Ainda foi determinado o teor de carbono orgânico total da turfa utilizando-se o seguinte procedimento: amostra absolutamente seca com dimensões inferiores a 100 mesh, de peso conhecido, foi incinerada a  $1.100^{\circ}\text{C}$  e o gás produzido ( $\text{CO}_2$ ) foi analisado através do aparelho Carmograph 12A. O resultado foi expresso diretamente em porcentagens de carbono.

Para cada ensaio utilizaram-se 400 g de material. Os ensaios foram realizados em retortas (muflas) elétricas devidamente equipadas para proceder a coleta das frações sólida e líquida do processo, cujas temperaturas foram controladas por pirômetros previamente calibrados. Do volume inicial de 200 litros foram obtidas ao acaso, subamostras individuais de turfa que foram submetidas ao aquecimento, às temperaturas finais de 300, 450, 600, 750 e  $900^{\circ}\text{C}$ , a partir de uma temperatura inicial de  $100^{\circ}\text{C}$ . As taxas médias de aquecimento na pirólise foram de 1, 3 e  $5^{\circ}\text{C}$  por minuto, que caracterizam três taxas bem distintas e assemelham-se àquelas já usadas para madeiras e mesmo para turfas em trabalhos a níveis laboratoriais, conforme já citado anteriormente. Foram testados, também, dois tempos de permanência às temperaturas finais do processo, ou seja de 30 e de 90 minutos. Para cada tratamento houve 2 (duas) repetições, perfazendo assim, um total de 60 ensaios. Após cada ensaio, o aparelho foi resfriado até aproximadamente  $50^{\circ}\text{C}$ , procedendo-se, então, a retirada e pesagem dos produtos sólidos (carvão) e voláteis condensá-

veis foram eliminados durante o processo.

Foram avaliados para cada pirólise os rendimentos gravimétricos percentuais de carvão, voláteis condensáveis com base no peso seco da turfa submetida a ação da pirólise. O cálculo foi feito para cada repetição utilizando a seguinte equação:

$$R = \frac{PP}{PMS} \times 100 \dots\dots (equação 1)$$

onde,

R = rendimento gravimétrico do produto sólido (carvão) ou volátil condensável (%);  
PP = peso do produto sólido (carvão) seco ou do volátil condensável (g);  
PMS = peso da matéria seca (g).

O rendimento em voláteis não condensáveis, foi obtido pela diferença dos rendimentos gravimétricos dos produtos sólidos e voláteis condensáveis, de um total de 100%.

Tanto na turfa original, como no seu carvão utilizando-se uma peneira de 10mm de abertura, determinou-se a fração que ficou retida na mesma, utilizando-se a seguinte equação:

$$Q = \frac{PFR}{PTC} \times 100 \dots\dots (equação 2)$$

onde,

Q = quantidade de turfa ou de carvão de turfa superior a 100 mm (%);  
PFR = peso da fração retida na peneira de 10 mm de abertura (g);  
PTC = peso do material (turfa ou carvão de turfa) usado na determinação (g).

Para determinar a taxa de redução granulométrica ocorrida na pirólise da turfa, aplicou-se os valores obtidos na equação 3 a seguir:

$$RG = \frac{QT - QC}{QT} \times 100 \dots\dots (equação 3)$$

onde,

RG = taxa de redução granulométrica (%);  
QC = quantidade de carvão de turfa superior a 10 mm (%);  
QT = quantidade de turfa superior a 10 mm (%).

O carvão de turfa foi analisado quanto:

a. Densidade verdadeira - obtida utilizando o método do picnômetro, citado por Oliveira et al. (1982b), e expressa em  $g/cm^3$ ;

b. Densidade aparente - obtida empregando-se o método da balança hidrostática, segundo a mesma usualmente empregada para madeiras propostas pela Associação Brasileira de

Celulose e Papel (M 14/74) expressa em kg/m<sup>3</sup>;

c. Porosidade - foi estimada a partir da densidade aparente e da densidade verdadeira do carvão. A equação empregada foi:

$$Po = \left(1 - \frac{DA}{DV}\right) \times 100 \dots\dots\dots (\text{equação 4})$$

onde,

Po = porosidade (%);

DA = densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>);

DV = densidade verdadeira (g/cm<sup>3</sup>).

d. Poder calorífico superior - foi determinado pelo método da bomba calorimétrica seguindo a norma NBR 8633 da Associação Brasileira de Normas Técnicas;

e. Análise imediata - foram obtidos os teores de matérias voláteis, de cinzas e de carbono fixo através da norma NBR 9112 da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Para análise estatística dos resultados da pirólise da turfa, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com tratamentos fatoriais tendo duas repetições por tratamento. Utilizaram-se 30 tratamentos discriminados nos fatores: 5 temperaturas finais, 3 taxas de aquecimento e 2 tempos de permanência às temperaturas finais.

Após a análise de variância, procedeu-se o teste de comparação de médias por fatores e também para as interações ocorridas entre eles, utilizando o teste de Waller-Duncan. O nível de significância deste teste segue o mesmo dado por F na análise de variância. De forma complementar e para auxiliar a discussão dos dados foram determinadas correlações estatísticas entre alguns parâmetros analisado no carvão de turfa utilizando-se de todos os resultados individuais de cada tratamento. No caso foram analisados os coeficientes de correlação. Para os dados em porcentagem, cujo coeficiente de variação foram alto (acima de 20%), procedeu-se a transformação dos dados para arcseno  $\sqrt{x/100}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização da turfa

As características da turfa são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização da turfa.

Parâmetros	Número de repetições	Médias	Coefficiente de variação (%)
Densidade verdadeira (g/cm <sup>3</sup> )	10	1,61	3,37
Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	10	370,03	9,45
Porosidade (%)	10	76,98	3,58

continuação (Tabela 1).

Parâmetros	Número de repetições	Médias	Coefficiente de variação (%)
Poder calorífico superior (kcal/kg)	5	4987,80	4,03
Teor matérias voláteis (%)	5	52,92	1,48
Teor de cinzas (%)	5	20,89	5,28
Teor de carbono fixo (%)	5	26,18	2,81
Teor de carbono total (%)	3	32,97	2,58

Verifica-se que este material enquadra-se como turfa energética, conforme proposta de classificação do Departamento de Energia dos Estados Unidos apresentada por Punwani (1980) e Reys (1983) já citada na revisão da literatura. Com base em Cohen (1983) deduz-se que a turfa usada pode também ser classificada entre hêmica e sáprica, portanto com um maior grau de decomposição e menor teor de fibras que também implica em material destinado para fins energéticos.

#### Resultados da pirólise da turfa

A Tabela 2 apresenta globalmente os resultados médios dos rendimentos e taxa de redução granulométrica enquanto a Tabela 3 apresenta os resultados globais dos valores de F das análises de variância desses resultados. Nas Tabelas de 4 a 6 são apresentados os desdobramentos dos valores de F.

**Tabela 2.** Resultados médios da pirólise da turfa em rendimento gravimétrico e taxa de redução granulométrica<sup>1</sup>.

Temperatura final (°C)	Taxa de aquecimento (°C/min)	Tempo de permanência (min)	Rendimento gravimétrico (%)			Taxa de redução granulométrica <sup>2</sup>
			Carvão turfa	Voláteis condensáveis	Voláteis não condensáveis	
300	1	30	90,91	4,26	4,83	0,802
300	1	90	85,32	7,56	7,12	0,882
300	3	30	89,97	6,54	3,49	0,507
300	3	90	85,95	7,89	6,16	0,557
300	5	30	85,27	6,82	7,90	0,460
300	5	90	83,37	8,51	8,12	0,362
450	1	30	65,27	17,03	17,69	0,772
450	1	90	60,53	20,61	18,86	0,894
450	3	30	63,21	19,26	17,52	0,716
450	3	90	60,40	21,11	18,49	0,780
450	5	30	68,86	18,39	18,75	0,748
450	5	90	60,97	22,35	16,68	0,914
600	1	30	51,14	23,68	25,18	0,806

continuação (Tabela 2).

Temperatura final (°C)	Taxa de aquecimento (°C/min)	Tempo de permanência (min)	Rendimento gravimétrico (%)			Taxa de redução granulométrica <sup>2</sup>
			Carvão turfa	Voláteis condensáveis	Voláteis não condensáveis	
600	1	90	50,90	23,94	25,16	0,793
600	3	30	51,91	23,58	24,51	0,633
600	3	90	51,65	24,16	24,09	0,645
600	5	30	52,61	22,99	24,40	0,650
600	5	90	51,65	23,51	24,84	0,616
750	1	30	49,13	27,26	23,61	0,887
750	1	90	48,11	26,30	25,59	0,873
750	3	30	47,23	25,97	26,80	0,774
750	3	90	46,17	27,64	26,19	0,794
750	5	30	47,18	25,64	27,17	0,589
750	5	90	47,21	24,48	28,31	0,599
900	1	30	44,96	27,42	27,62	0,791
900	1	90	45,37	26,27	28,35	0,903
900	3	30	45,71	23,13	31,16	0,645
900	3	90	45,68	24,24	30,08	0,659
900	5	30	45,68	21,51	32,81	0,569
900	5	90	45,40	21,11	33,49	0,474

(1) médias de duas repetições.

(2) médias de duas repetições, expressa em  $\text{arc sen}\sqrt{x/100}$ .

**Tabela 3.** Valores de F para rendimento gravimétrico dos produtos da pirólise da turfa e sua taxa de redução granulométrica.

Causa de variação	Carvão turfa	Voláteis condensáveis	Voláteis não condensáveis	Taxa de redução granulométrica da turfa
Temperatura final (A)	9431,05 **	2046,17 **	1703,27 **	6,69 **
Taxa de aquecimento (B)	12,36 **	14,27 **	29,18 **	27,17 **
Tempo de permanência (C)	107,71 **	50,14 **	6,87 *	0,91 ns
Interação A x B	14,28 **	26,17 **	11,71 **	2,78 *
Interação A x C	24,92 **	18,61 **	2,66 ns	0,70 ns
Interação B x C	5,19 *	0,59 ns	2,89 ns	0,51 ns
Coefficiente de variação (%)	1,03	2,94	2,76	15,14

ns = não significativo.

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade.

**Tabela 6.** Comparação de médias de rendimento gravimétrico de carvão em função da taxa de aquecimento e tempo de permanência.

Parâmetro	Taxa de aquecimento (°C)	Tempo de permanência (minutos)	
		30	90
Rendimento em carvão de turfa (%)	1	60,27 aA*	58,05 aB
	3	59,61 bA	57,97 aB
	5	58,72 cA	57,72 aB

(\*) As médias na coluna com mesma letra minúscula ou na linha seguida pela mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Waller-Duncan.

Observa-se a ocorrência de uma perda gradativa de massa de turfa na forma de voláteis em função do aumento da temperatura de degradação. Mencione-se que nesse gradiente ocorreram maiores perdas de massa durante os aquecimentos nas temperaturas mais baixas que nos aquecimentos nas temperaturas mais elevadas. Este comportamento sugere que nas temperaturas mais baixas, destacando a de 450°C, processa-se uma série de reações e transformações químicas mais interessantes em relação aquelas ocorridas nas maiores temperaturas. De fato, de 600 a 900°C continuou havendo quedas gradativas no rendimento gravimétrico de carvão, todavia tendendo para uma estabilização.

O rendimento gravimétrico em carvão de turfa mostrou-se ainda influenciado pela taxa de aquecimento e tempo de permanência na temperatura final conforme pode ser observado na Tabela 4. Verifica-se que o aumento da taxa de aquecimento foi acompanhado de uma diminuição do rendimento de carvão de turfa, particularmente nas menores temperaturas finais.

O tempo de permanência na temperatura final provocou efeito no rendimento gravimétrico de carvão de madeira mais ou menos semelhante aquele causado pela taxa de aquecimento, o que pode ser melhor visualizado nas Tabelas 5 e 6 e Figura 1.

No período de degradação mais curto, 30 minutos, o rendimento em carvão foi maior que aquele conseguido a 90 minutos, particularmente nas menores temperaturas. Portanto, deduz-se que em períodos mais extensos, nas condições de temperaturas mencionadas, há mais oportunidade de eliminação de voláteis na turfa e por conseguinte reduz-se o seu rendimento em carvão.

Denota-se através das Tabelas 4 a 6, que a temperatura final induz efeito bem mais forte no rendimento em carvão que os demais fatores testados.

Como esperava-se, o rendimento gravimétrico em voláteis procedeu-se de maneira inversa ao de carvão de turfa. Foi observado que, como regra geral, quando aumenta-se a temperatura final do processo, resulta-se em um aumento gradativo na perda de voláteis pela turfa, os quais enriquecem as fases líquida e fasosa. O efeito foi mais pronunciado quando o processo ocorreu em temperaturas mais baixas. Nas temperaturas mais altas - 600, 750 e 900°C, predominou-se maior produção de voláteis não condensáveis em relação aos voláteis condensáveis. Esta maior produção destes voláteis, após 600°C, se

deve a ocorrência de gaseificação do carvão. Até 500-600°C, desprende-se gases oxigenados e gases hidrogenados, onde sobrepõe-se a produção de hidrocarbonetos. Não sendo interrompido o processo e a temperatura ultrapassam valores acima desta faixa, como conseqüência, o gás hidrogênio torna-se predominante. Esta deve ser a razão pela qual se explica, de certa forma, a geração ligeiramente maior de voláteis não condensáveis as temperaturas mais altas.

Pelos resultados obtidos para o carvão de turfa era de se esperar, que o tempo de permanência na temperatura final exercesse influência no rendimento de voláteis. Verifica-se que no período de 90 minutos houve maior produção de voláteis quando comparado ao de 30 minutos, somente nas temperaturas de 300 e 450°C.

Em concordância com o observado, foi verificado uma correlação significativa com coeficiente de correlação de -0.9815 entre rendimento em carvão de turfa e rendimento em voláteis.

#### Taxa de redução granulométrica da turfa

A Tabela 2 apresenta os resultados médios para taxa de redução granulométrica da turfa frente a pirólise, enquanto na Tabela 3, tem-se os valores de F da análise de variância. Na Tabela 7, tem-se a comparação de médias.

**Tabela 7.** Comparação de médias para taxa de redução granulométrica da turfa a interação taxa de aquecimento e temperatura final.

Temperatura final (°C)	TAXA DE REDUÇÃO GRANULOMÉTRICA		
	1º C/minuto	3º C/minuto	5º C/minuto
300	0,342 aA*	0,532 cB	0,411 cC
450	0,833 aA	0,748 abAB	0,732 aB
600	0,800 aA	0,639 bB	0,633 abB
750	0,880 aA	0,784 aB	0,595 bC
900	0,848 aA	0,652 bB	0,525 beC

(1) Médias expressa em arc seno  $\sqrt{x/100}$

(\*) As médias na coluna com mesma letra minúscula ou na linha com mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Waller-Duncan.

Com base nos valores de F, verifica-se que houve efeito significativo somente dos fatores temperatura final e taxa de aquecimento e da interação ocorrida entre estes na taxa de redução granulométrica. Na média, independente dos efeitos específicos de cada fator, ocorreu uma redução granulométrica em torno de 40 a 45%. De certa forma, este comportamento esta de acordo com observações feitas por Fuchsman (1980). Tal autor menciona que a redução no tamanho da turfa inicia-se a 250°C e atinge o gradiente máximo em torno de 450 e após 500°C ocorre pouca redução.

O fator que mais contribui para a diminuição na granulometria da turfa frente a pirólise, como pode ser verificado na Tabela 7, foi a taxa de aquecimento. Esta sensível redução na granulometria em função da pirólise, deve estar relacionada, muito provavelmente, com a taxa e a quantidade de voláteis eliminados durante o processo, bem como fe-

**Pirólise de turfa ...**

nômenos ligados à ruptura e fragmentação da turfa.

### Características do carvão de turfa

O carvão de turfa foi caracterizado através das determinações da densidade verdadeira, densidade aparente, porosidade, poder calorífico superior e análise imediata. Logo a seguir, são apresentados e discutidos os resultados individualmente para cada parâmetro analisado. Enfatiza-se os efeitos que os fatores temperatura final, taxa de aquecimento e tempo de permanência na temperatura final, empregados na pirólise da turfa, induziram nas características do seu carvão.

### Densidade, porosidade e poder calorífico superior do carvão de turfa

A Tabela 8 apresenta os resultados médios globais enquanto na Tabela 9 é mostrados os valores de F obtidos nas análises de variância. Quando os valores de F apresentaram-se significativos, procedeu-se o desdobramento dos valores médios para melhor visualização e discussão dos resultados. Tal desdobramento é apresentado na Tabela 10.

**Tabela 8.** Resultados médios de densidade, porosidade e poder calorífico superior do carvão de turfa<sup>1</sup>.

Temperatura final (°C)	Taxa de aquecimento (°C/min)	Tempo de permanência (min)	Densidade verdadeira (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Porosidade (%)	Poder calorífico superior (kcal/kg)
300	1	30	1,49	491	67,16	5044
300	1	90	1,53	469	69,45	5108
300	3	30	1,46	496	63,13	5184
300	3	90	1,49	531	64,33	5260
300	5	30	1,43	499	55,21	5138
300	5	90	1,46	497	66,07	5149
450	1	30	1,49	501	66,44	5501
450	1	90	1,55	553	64,22	5912
450	3	30	1,54	535	65,24	5637
450	3	90	1,55	566	63,48	5656
450	5	30	1,57	557	64,63	5815
450	5	90	1,59	531	67,71	5766
600	1	30	1,81	622	65,71	6385
600	1	90	1,75	622	64,43	6784
600	3	30	1,73	571	67,08	6499
600	3	90	1,72	606	64,88	6732
600	5	30	1,79	631	64,79	6136
600	5	90	1,77	546	69,13	6682
750	1	30	1,76	629	64,35	6454
750	1	90	1,80	627	65,27	6581
750	3	30	1,73	605	65,10	6719
750	3	90	1,74	627	64,08	6738
750	5	30	1,75	621	64,61	6974
750	5	90	1,79	616	65,65	6772
900	1	30	1,78	787	55,70	6707
900	1	90	1,88	816	56,57	6860
900	3	30	2,08	772	62,88	6438
900	3	90	2,11	746	64,76	6715
900	5	30	1,99	657	67,04	6637
900	5	90	2,02	674	66,73	6813

(1) Médias de duas repetições.

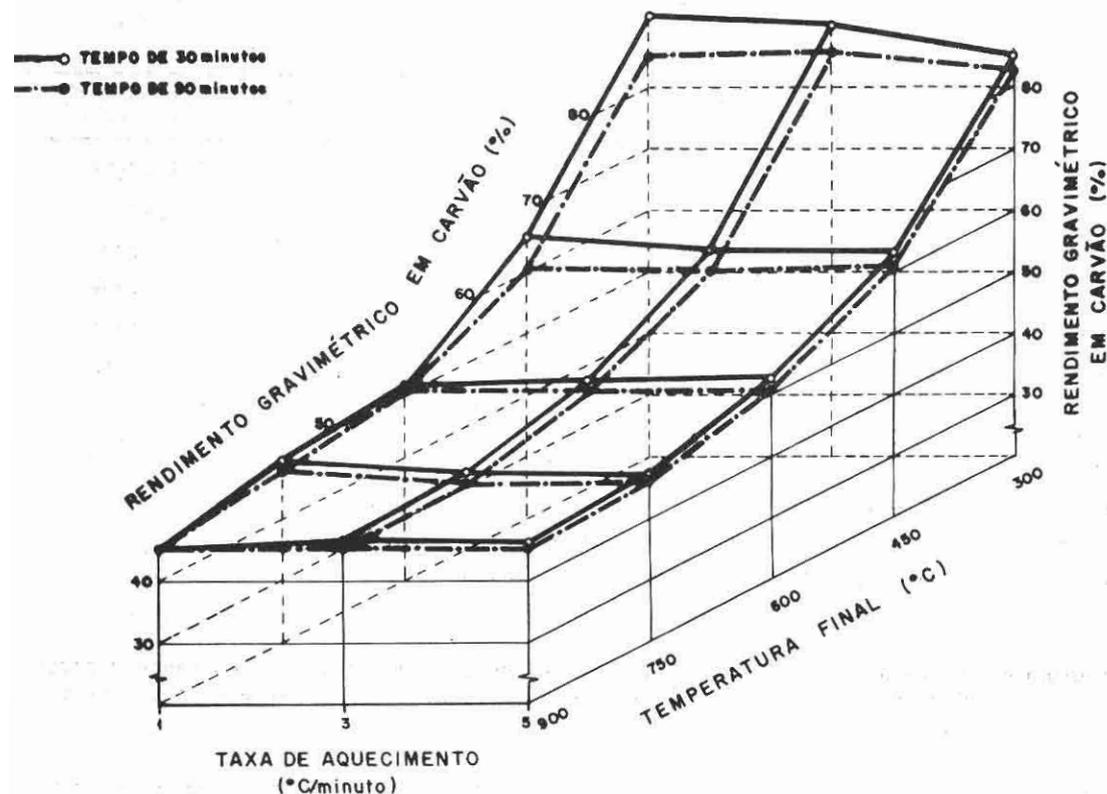


Fig. 1. Efeito da taxa de aquecimento, temperatura final e tempo de permanência no rendimento gravimétrico de carvão de turfa.

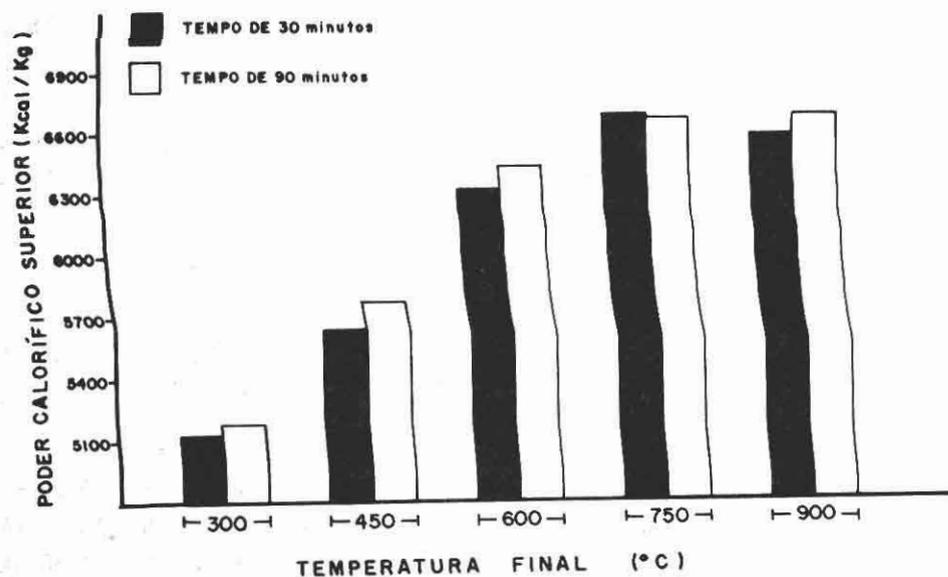


Fig. 2. Efeito do tempo de permanência e temperatura final no poder calorífico superior do carvão de turfa.

**Tabela 9.** Valores de F para densidade, porosidade e poder calorífico superior do carvão.

Causa da variação	Densidade verdadeira	Densidade aparente	Porosidade	Podêr calorífico superior
Temperatura final (A)	253,14**	65,95**	5,59**	119,94**
Taxa de aquecimento (B)	3,74*	3,28ns	4,49*	0,30ns
Tempo de permanência (C)	3,80ns	0,05ns	0,26ns	6,97*
Interação A x B	19,95**	2,75*	5,16**	1,28ns
Interação A x C	1,75ns	0,24ns	0,09ns	1,54ns
Interação B x C	0,32ns	1,64ns	1,75ns	0,51ns
Coeficiente de variação (%)	2,52	6,66	3,64	3,59

ns = não significativo

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade

**Tabela 10.** Comparação de médias de densidade verdadeira, densidade aparente e porosidade do carvão de trufa em função da temperatura final e taxa de aquecimento.

Parâmetro	Temperatura final (°C)	Taxa de aquecimento (°C/minuto)		
		1	3	5
Densidade verdadeira (g/cm)	300	1,51 cA*	1,48 cA	1,46 dA
	450	1,52 cA	1,54 cA	1,58 cA
	600	1,78 bA	1,73 bA	1,78 bA
	750	1,78 bA	1,74 bA	1,77 bA
	900	1,88 aB	2,05 aA	2,01 aA
Densidade aparente (kg/m)	300	480 cA	513 cA	498 dA
	450	527 cA	550 bcA	535 cbA
	600	622 bA	588 bA	589 bcA
	750	628 bA	619 bA	619 abA
	900	774 aA	757 aA	665 aB
Porosidade (%)	300	68,31 aA	65,23 aA	65,24 aA
	450	65,33 aA	64,36 aA	66,17 aA
	600	65,08 aA	65,98 aA	66,96 aA
	750	66,81 aA	64,59 aA	65,13 aA
	900	65,83 bC	63,83 aB	66,88 aA

\* As médias na coluna com mesma letra minúscula ou na linha com mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Waller-Duncan.

Para a densidade verdadeira do carvão de turfa, com a elevação da temperatura considerando toda a faixa de 300 à 900°C, observou-se na média a tendência de acréscimos sistemáticos. Isto pode ser observado na Tabela 10. Este aumento foi mais acentuado na faixa de 300 à 600°C, foi pequeno daí até 750°C. Entretanto, de 750 a 900°C novamente houve um acréscimo bastante acentuado na densidade verdadeira do carvão. Este comportamento também foi observado por Grumpelt e Relander *et al.* citados por Fuchsman (1980) estudando a degradação térmica da turfa.

Na densidade aparente os valores médios do carvão, foram maiores do que aquele encontrado originalmente na turfa. Isto pode ser explicado pela densidade verdadeira do carvão que é maior e inclusive pela ocorrência de um teor mais elevado de cinzas do carvão, por ser este material relativamente inerte no processo de pirólise. Convém mencionar que a densidade das cinzas de turfa é bastante elevada. Determinação realizada à parte indicou um valor médio de 2,41 g/cm<sup>3</sup>. Quanto maiores foram as temperaturas finais de pirólise, maiores foram os valores de densidade aparente do carvão. Este aumento foi diretamente proporcional ao teor de cinzas do carvão que também foi aumentando conforme maiores foram estas temperaturas finais. Em parte, esta é a razão para explicar o comportamento verificado para a densidade aparente. Por outro lado, verifica-se que o carvão sofreu sensível redução em sua granulometria conforme mencionado anteriormente quando comparado com a turfa original. Essa redução granulométrica conforme também já discutido pode ter surgido em função de uma redução de volume. Daí deduzir-se essa redução de volume proporcionando aumento da densidade aparente do carvão.

Quanto a porosidade observa-se que sua variação no carvão de turfa em função das condições de pirólise foi relativamente pequena. Isto é compreensível, uma vez que a porosidade reflete a relação entre a densidade aparente e a densidade verdadeira. Conforme foi notado anteriormente, aquelas densidades aumentaram de maneira semelhante e proporcionalmente com a elevação da temperatura final. Como tal, a razão entre as duas modalidades de densidade foram mantidas mais ou menos constante. Por conseguinte, a porosidade tornou-se praticamente constante diante dos tratamentos empregados.

À medida que elevou-se a temperatura, observa-se acréscimos nos valores do poder calorífico superior, sendo que nas temperaturas mais altas houve uma tendência de estabilização. Isto é compreensível tendo em vista que o aumento na temperatura provoca maior concentração de carbono fixo e menor concentração no teor de matérias voláteis. Confirmando este comportamento foi observado que o poder calorífico superior do carvão tem uma forte correlação positiva ( $r = 0,9012$ ) com o teor de carbono fixo e uma negativa ( $r = -0,9371$ ) com o teor de matérias voláteis. Este comportamento verificado no poder calorífico superior do carvão de turfa está de acordo com averiguações realizadas por Fuchsman (1980) para a turfa e de Coutinho (1984) e Faria (1984) para madeira.

Comparativamente aos dados de Keppeler e Holfamann citados por Fuchsman (1980) os resultados de poder calorífico superior foram ligeiramente inferiores. Isto pode ser explicado pelo alto teor de cinzas contido na turfa originalmente, que por conseguinte gerou um carvão com alto teor de cinzas, que atua como material inerte. Tanto é verdade, que o crescente aumento verificado no teor de cinzas, em função da elevação da Pirólise de turfa ...

temperatura, imprimiu um menor gradiente de elevação no poder calorífico superior, em função de aumento naquele fator. Por outro lado, os valores médios do poder calorífico obtidos nos tratamentos com temperatura de 450°C, estão de acordo com aqueles mencionados por Silva & Brito (1978) para carvão de turfa com alto teor de cinzas e obtido em condições de pirólise próximas ao do presente estudo.

#### Análise imediata do carvão de turfa

Os efeitos dos parâmetros temperatura final, taxa de aquecimento e tempo de permanência na temperatura final nos resultados da análise imediata do carvão de turfa, ou seja nos teores de matérias voláteis, cinzas e carbono fixo, são observados pelos resultados médios da análise imediata apresentados na Tabela 11 e pelos valores de F obtidos nas análises de variância apresentados na Tabela 12. Quando os valores de F da Tabela 12 apresentaram-se significativos para interação entre fatores, procedeu-se ao desdobramento dos valores médios dos parâmetros da composição imediata para melhor visualização e discussão dos resultados. Tais desdobramentos são mostrados nas Tabelas 13 e 15.

Tabela 11. Resultados médios da análise imediata do carvão de turfa<sup>1</sup>

Temperatura final ( °C )	Taxa de aquecimento (°C/min)	Tempo de permanência (min)	Teor de matérias voláteis ( % )	Teor de cinzas ( % )	Teor de carbono ( % )
300	1	30	49,50	20,41	30,08
300	1	90	45,29	23,93	30,75
300	3	30	46,59	23,35	30,05
300	3	90	46,67	20,72	32,35
300	5	30	45,27	22,22	32,50
300	5	90	45,00	20,86	34,13
450	1	30	32,50	23,09	44,41
450	1	90	25,26	31,34	43,49
450	3	30	27,31	30,13	42,53
450	3	90	26,61	16,19	47,19
450	5	30	27,80	24,13	48,06
450	5	90	23,53	31,82	44,60
600	1	30	13,27	37,05	49,67
600	1	90	12,04	32,79	55,19
600	3	30	14,85	26,92	58,23
600	3	90	13,99	31,32	54,68
600	5	30	15,40	30,94	53,65
600	5	90	14,21	30,15	55,64
750	1	30	7,61	39,65	52,74
750	1	90	7,74	38,34	53,91
750	3	30	8,48	39,04	52,47
750	3	90	7,11	38,18	54,70
750	5	30	7,03	35,51	59,45
750	5	90	6,32	36,69	56,48
900	1	30	5,04	39,59	55,57
900	1	90	3,74	37,20	59,06
900	3	30	4,13	40,28	55,58
900	3	90	3,60	32,63	63,76
900	5	30	3,72	34,67	61,60
900	5	90	3,30	36,65	61,04

Médias de duas repetições.

**Tabela 12.** Valores de F para análise imediata do carvão de turfa.

Causa de variação	Teor de matérias voláteis	Teor de cinzas	Teor de carbono fixo
Temperatura final (A)	2441,86**	94,57 **	341,27 **
Taxa de aquecimento (B)	3,56*	4,15 *	12,07 **
Tempo de permanência (C)	25,22**	0,01ns	6,41 *
Interação A x B	2,95*	1,63ns	1,29ns
Interação A x C	4,24*	3,46*	1,49ns
Interação B x C	3,95*	3,42*	3,76*
Coefficiente de variação (%)	6,1365	7,5123	4,23

ns = não significativo

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade

**Tabela 13.** Comparação de médias do teor de matérias voláteis do carvão de turfa em função da temperatura final e taxa de aquecimento.

Parâmetro	Temperatura final (°C)	Taxa de aquecimento (°C/min)		
		1	2	3
Teor de matérias voláteis (%)	300	47,40 aA*	46,63 aA	45,14 aB
	450	28,88 bA	26,97 bA	25,66 bB
	600	12,66 cB	14,42 cAB	14,81 cA
	750	7,68 dA	7,80 dA	6,93 dA
	900	4,39 eA	3,87 eA	3,51 eA

\* As médias na coluna com mesma letra minúscula ou na linha com mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Waller-Duncan.

**Tabela 14.** Comparação de médias do teor de matérias voláteis do carvão de turfa em função da temperatura final e tempo de permanência.

Parâmetro	Temperatura final (°C)	Tempo de permanência (minutos)	
		30	90
Teor de matérias voláteis (%)	300	47,12 aA*	45,66 aA
	450	29,20 bA	45,13 bB
	600	14,51 cA	13,41 cA
	750	7,71 dA	7,22 dA
	900	4,30 eA	3,55 eA
Teor de cinzas (%)	300	21,99 dA	21,85 cA
	450	25,78 cB	29,78 bA
	600	31,64 bA	31,42 bA
	750	38,07 aA	37,74 aA
	900	38,18 aA	35,16 aB

\* As médias na coluna com mesma letra minúscula ou na linha com mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Waller-Duncan.

**Tabela 15.** Comparação de médias de análise imediata do carvão de turfa em função da taxa de aquecimento e tempo de permanência.

Parâmetro	Taxa de aquecimento (°C/min)	Tempo de permanências (minutos)	
		30	90
Teor de matérias voláteis (%)	1	21,53 aA*	18,81 aB
	3	20,28 bA	19,60 aA
	5	19,85 cA	18,57 aA
Teor de cinzas (%)	1	31,96 aA	32,73 aA
	3	31,95 aA	29,81 bA
	5	29,50 bA	31,04 abA
Teor de carbono fixo (%)	1	46,50 bB	48,48 bA
	3	47,77 bB	50,54 aA
	5	51,05 aA	50,38 aA

\* As médias na coluna com mesma letra minúscula ou na linha com mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Waller-Duncan.

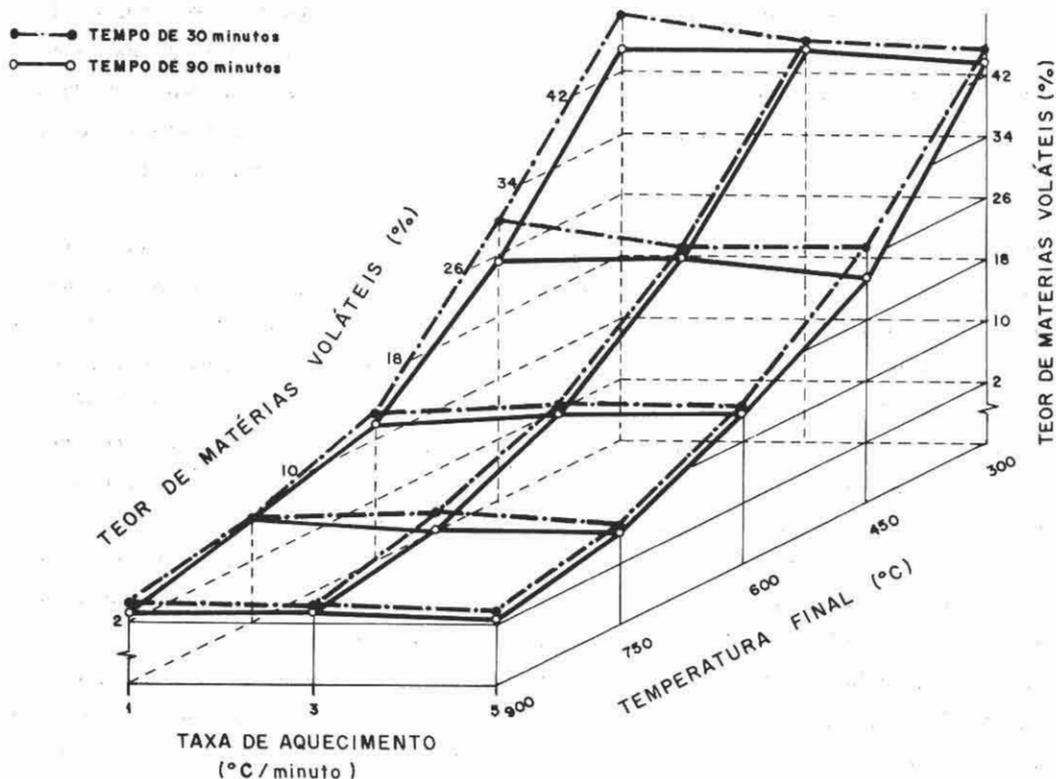


Fig. 3. Efeito da taxa de aquecimento, temperatura final e tempo de permanência no teor de matérias voláteis do carvão de turfa.

O decréscimo encontrado no teor de voláteis no carvão de turfa com a elevação da temperatura final está de acordo com observações feitas por Chukanov et al. (1962) para turfa. Isto é compreensível tendo em vista que, o aumento de temperatura provoca a expansão dos gases e sua expulsão do interior da turfa durante sua pirólise.

Foi observada uma forte correlação positiva ( $r = 0,9812$ ) entre o teor de matérias voláteis do carvão de turfa e o seu rendimento gravimétrico em carvão. Este rendimento em carvão foi afetado de maneira inversa a variação na taxa de aquecimento. Por esta razão, observa-se, também, um decréscimo no teor de matérias voláteis com o aumento da taxa de aquecimento (Tabela 13 e Fig. 3).

No item **Resultados da Pirólise da turfa**, através das Tabelas 2 e 6, foi observado que o maior tempo de permanência, para uma determinada temperatura final, provoca uma maior eliminação de voláteis. Portanto, era esperado que o tempo de permanência exercesse influência de maneira inversa, como de fato verifica-se, sobre o teor de matérias voláteis no carvão de turfa.

Quanto ao teor de cinzas, presume-se que a sua quantidade real contida originalmente na matéria prima vai permanecer a mesma encontrada no produto sólido da pirólise.

Pórtanto, a cinza torna-se uma matéria inerte na composição da turfa. Por outro lado, o tratamento térmico provoca a eliminação de voláteis com a conseqüente perda de massa por parte da turfa, aumentando-se a quantidade relativa de cinzas no carvão obtido. Este aumento relativo de cinzas na composição do carvão é diretamente proporcional ao teor contido originalmente na matéria prima (Tabela 1) e o rendimento gravimétrico em voláteis.

O teor de carbono fixo do carvão de turfa aumenta em função da elevação da temperatura final. Este comportamento já é bastante conhecido, mormente para carbonização de madeira, e tem sido mencionado por vários autores como Wenzl (1970), Petroff & Doat (1979) e Faria (1984), trabalhando com várias espécies florestais. Para a pirólise da turfa este comportamento foi observado por Chukanov et al. (1982) e Fuchsman (1980). Na faixa de temperatura entre 300 e 600°C, o ganho conseguido com o aumento no teor de carbono fixo no carvão de turfa foi bem destacado; entretanto, o ganho observado nas temperaturas acima de 600°C foi relativamente pequeno.

A tabela 15 mostra que houve um ligeiro ganho no teor de carbono fixo do carvão com a elevação da taxa de aquecimento e também com o aumento do tempo de permanência final. Isto é compreensível, pois, a medida que proporcionou-se uma pirólise mais rápida, com maior taxa de aquecimento, houve uma tendência de liberar e expulsar os produtos voláteis da turfa mais abruptamente. Como conseqüência, tornou-se o produto sólido mais concentrado em carbono fixo. Por sua vez, é evidente que quanto maior for o tempo de permanência numa determinada temperatura final, maior vai ser a oportunidade para liberar mais voláteis, redundando num maior teor de carbono fixo no produto sólido final. Tal fato é ainda evidenciado pelo coeficiente de correlação de 0,9387 verificado entre o teor de carbono fixo do carvão e o rendimento gravimétrico em voláteis na pirólise.

Com base nos valores de F da análise de variância e pelas médias dos teores de matérias voláteis, de cinzas e de carbono fixo do carvão, depreendeu-se que estes parâmetros foram influenciados com maior evidência pela temperatura final do que pelos demais fatores usados na pirólise de turfa.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados e considerando o material e as condições empregadas neste estudo, pode concluir-se que:

- a) a turfa utilizada é do tipo energética;
- b) os rendimentos dos produtos da pirólise de turfa e as características de seu carvão são influenciados pelos fatores de tratamento empregados;
- c) a temperatura final foi o fator que exerceu maior efeito no rendimento gravimétrico dos produtos da pirólise de turfa, bem como nas características do seu carvão;
- d) o rendimento gravimétrico de carvão sofreu reduções enquanto os voláteis condensáveis e não condensáveis sofreram acréscimos quanto maior foi a temperatura final da pirólise de turfa;

- e) nas temperaturas mais baixas de pirólise, observou-se que o rendimento gravimétrico de carvão de turfa diminui e de voláteis aumentou com a elevação da taxa de aquecimento e do tempo de permanência na temperatura final;
- f) a turfa, originalmente classificada acima de 10 mm, sofreu redução na granulometria a níveis de 40 a 45% após sua pirólise, sendo que o fator que mais contribuiu para este comportamento foi a taxa de aquecimento;
- g) as densidades verdadeira e aparente do carvão aumentaram quanto maior foi a temperatura final da pirólise de turfa;
- h) dentre os parâmetros analisados, a porosidade foi a que apresentou-se menos influenciada pelos fatores testados;
- i) quanto maior foi a temperatura final da pirólise maior foi o valor do poder calorífico superior do carvão de turfa até a temperatura de 750°C, acima desta houve tendência de estabilização;
- j) quanto maior foi a temperatura final e o tempo de permanência da pirólise reduziu-se o teor de matérias voláteis e aumentou-se os teores de cinza e de carbono fixo do carvão de turfa;
- k) o poder calorífico superior do carvão de turfa foi correlacionado, positivamente com a produção de voláteis durante a pirólise e com o teor de carbono fixo e, negativamente com o rendimento gravimétrico em carvão de turfa e o seu teor de matérias voláteis; e,
- l) é possível obter-se carvão de turfa com diferentes características e, portanto, com possibilidades de múltiplas aplicações.

## SUMMARY

*This paper has the objective of studying the behavior of peat in face of pyrolysis, towards checking the effects of final temperature, rate of heating and time of permanence at the final temperature in the yields of solid products (coal) condensable and non-condensable volatiles, besides the characteristics of coal produced. These characteristics were: actual density, apparent density, porosity, superior calorific power, content of volatiles materials, ashes, fixed carbon and also granulometric reduction.*

*The pyrolysis has been made in electric muffle of laboratory, using the temperatures of 300, 400, 500, 600, 700, 800 and 900°C, at the heating rate of 1, 3 and 5°C/minute, and time of permanence at the final temperature of 30 and 90 minutes.*

*By the results, it has been observed that the among the factors tested in pyrolysis of peat, the final temperature had the major effect at the variation of gravimetric yield of products and characteristics analysed on its coal. Generally, the peat classified at first above 10mm has suffered a reduction on its granulometry, at levels of 40-45% after the pyrolysis. As greater the final temperature of pyrolysis, the larger the yield of volatiles, actual density, apparent density, superior calorific*

power, content of ashes and content of fixed carbon, while the smaller the gravimetric yields and content of volatiles material of peat coal. The porosity of peat coal was the parameter that was less influenced by the factors tested. The production of volatiles during the pyrolysis, and with the content of fixed carbon of peat coal. The production of peat coal is viable with multiple possibilities of application, in face of the different characteristics obtained.

#### Referências Bibliográficas

- Almeida, J. M. - 1983. Efeito da temperatura sobre rendimento e propriedade dos produtos de carbonização de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. Viçosa, 40 p. Tese de Mestrado - UFV.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - 1985. Normas Técnicas NBR - nº 8633 de 1985. Brasília, 1985.
- Bel'Kevich, P. I.; Gaiduk, K. A.; Minkevich, M. I. - 1971. Thermal decomposition of individual components of seed peat. Ser. *Khimiya Navuk* 5:53-6. Apud *Chemical Abstract*, 76 (8):114.
- Brito, J. O. & Barrichelo, L. E. G. - 1977. Comportamentos isolados de lignina e da celulose da madeira frente à carbonização. Circular Técnica, IPEF, Piracicaba, (28):1-4.
- Chukanov, Z. I.; Kashurichev, A. P.; Stomans, Ya. A. - 1962. Effect of composition and of increase in yield of volatile products in fuel pyrolysis at high heating rates. *Doch. Akad. Nauk.* 555R. 143:162-5. Apud *Chemical Abstracts*, 57 (1):1200 h.
- Cohen, A. D. - 1983. Obtaining more precise description of peats by use of oriented microtome sections. In: Jarret, P. M. *Testing of Peats and Organic Soils*, ASTM 820. American Society for Testing and Materials. p. 37-51.
- Coutinho, A. R. - 1984. Qualidade do carvão vegetal correlacionada as características da madeira de *E. saligna* e temperatura de carbonização. Piracicaba, 76 p. Tese de Mestrado, ESALQ/USP.
- Earl, D. E. - 1975. *Forest energy and economic development*. Oxford, Clarendon Press. 128 p.
- Faria, W. L. F. - 1984. A jurema-preta (*Mimosa hostilis* Benth.) como fonte energética do semi-árido do Nordeste - Carvão. Curitiba, 113 p. Tese de Mestrado - UFPr.
- Fuchsman, R. S. - 1974. *Potencial of peat for fuel*. University of Minnesota. 29 p.
- Keys, D. - 1983. Effect of peat type and decomposition on the calorific value of some New Brunswick peats. In: Jarret, P.M. *Testing and Organic Soils*, ASTM STP 820. New York, American Society for Testing and Materials. p. 111-21.
- Larbalétrier, A. - s.d. *La tourbe et les toubères*. Paris, Masson et Ci. 189 p.
- Mendes, M. G.; Gomes, P. A.; Oliveira, J. B. - 1982. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. In: *Produção e utilização do carvão vegetal*. Belo Horizonte, p. 75-90.
- Oliveira, J. B.; Gomes, P. A.; Almeida, M. R. - 1982a. Estudos preliminares de normatização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal. In:

TECNOLOGICO DE MINAS GERAIS. **Carvão Vegetal**. Belo Horizonte, p. 7-38.

- Oliveira, J. B.; Vivacqua Filho, A.; Mendes, M. G.; Gomes, P. A. - 1982b. Produção de carvão vegetal - aspectos técnicos. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Produção e Utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte. p. 59-74.
- Petroff, G. & Doat, J. - 1978. Pirolise des bois tropicaux: influencia de la composition chimique des bois sur les produits de distillation. **Bois et Forest de Tropiques**, Nogent-sur-Marne, (117):51-64, Jan/Fev.
- Punwani, D. V. - 1980. Synthetic fuels from peats. In: INTERNATIONAL PEAT CONGRESS, Duluth, August 17-23, p. 49-81.
- Silva, D. A. & Brito, J. O. - 1987. Estudo comparativo da carbonização de três origens de turfas em relação a madeira de **Eucalyptus grandis**. **IPEF**, Piracicaba (36):21-26.
- Wenzl, H. F. J. - 1970. **The chemical technology of wood**. New York, Academic Press, 692 p.
- Zhukov, V. R.; Grechko, K.; Tserlyukevich, Ya. - 1980. An investigation of the thermal properties of peat was and some its components. **Khimiya Tverdogo Topliva**, 14(4):85-90.

(Aceito para publicação em 04/01/1990)