

## COMBUSTÃO DE PARTÍCULAS DE CARVÃO PULVERIZADO CONTENDO UMIDADE EM SEU INTERIOR

### **Valdeci José Costa**

UNIPLAC - Universidade do Planalto Catarinense, Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Lages, SC, Brasil, CP 525, CEP 88.509-900

Email: [vcosta@iscc.com.br](mailto:vcosta@iscc.com.br)

### **Viktor Krioukov**

UNIJUÍ - Universidade Regional do Estado do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática, CP 560, CEP 98.700-000 Ijuí RS - Brasil

Email: [kriukov@main.unijui.tche.br](mailto:kriukov@main.unijui.tche.br)

### **Clóvis Raimundo Maliska**

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Mecânica. Florianópolis, SC, Brasil, CP 476, CEP 88.040

Email: [maliska@sinmec.ufsc.br](mailto:maliska@sinmec.ufsc.br)

**Resumo.** Neste trabalho propõe-se um estudo numérico destinado à combustão de carvão pulverizado úmido em um escoamento reagente. O modelo matemático é composto por equações para a concentração das substâncias no meio reagente, escritas com base na cinética química e na forma exponencial, equações de conservação, equações de devolatilização, combustão do carbono e resíduos. O estudo detecta alternância de majoração entre as temperaturas do gás e das partículas. A inclusão da umidade como parte constituinte da matéria volátil não afeta a performance do modelo, no entanto, sua presença altera os perfis de temperatura e a composição gasosa. Com o aumento da umidade no carvão temos uma ligeira redução no tempo de combustão da partícula, o que concorda com dados experimentais. O modelo prevê um incremento na diferença  $T_p - T_g$  e uma menor produção de CO com o aumento da taxa de umidade. Os voláteis, apesar de terem sua fração relativamente reduzida com a presença de umidade são liberados mais lentamente com o seu incremento, provocando um deslocamento na posição da frente de chama.

**Palavras chave:** Modelo matemático, umidade, combustão de carvão pulverizado.

## 1. INTRODUÇÃO

Na literatura existem poucos relatos à respeito da presença de umidade no interior de partículas de carvão pulverizado quando elas são submetidas ao processo de combustão. Contudo, sabemos que na prática, o teor de umidade contido no carvão pulverizado, quando armazenado ao ar livre, pode atingir altas frações de massa. A grande maioria dos trabalhos

publicados na área utiliza base seca (Therssen *et al*, 1995, Saastamoinen *et al*, 1996, Monson *et al*, 1995, Walsh *et al*, 1984, Lau e Niksa, 1992).

Um dos trabalhos encontrados na literatura que considera a umidade é o de Agarwal *et al* (1986) onde os mesmos elaboram um modelo numérico acoplado secagem e devolatilização para combustores de carvão em leito fluidizado e partículas grandes. Eles admitem que os processos de devolatilização e secagem podem ocorrer paralelamente mas com intervalos de tempos distintos e não admitem a queima dos voláteis após sua liberação, o que certamente influenciaria seus resultados. As taxas de combustão seriam alteradas devido à presença da umidade.

Alguns trabalhos como os de Suuberg *et al* (1978) estabelecem experimentalmente, que a água é um dos produtos da pirólise, juntamente com  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$  e  $C_6H_6$ . Esta mesma combinação de voláteis foi considerada em iguais proporções no trabalho de Veras *et al* (1999). Há de se ressaltar que a quantidade de  $H_2O$  obtida nos ensaios de Suuberg *et al* (1978) é relativamente pequena e além disso ela é considerada como um produto e não como parte constituinte do carvão.

O objetivo deste estudo é avaliar numericamente a influência da umidade presente no interior das partículas, nas taxas de combustão dos voláteis e “char”, bem como na evolução das temperaturas do gás e partículas e ainda na composição dos gases pós-combustão.

## 2. DESCRIÇÃO DO MODELO

O modelo matemático utilizado em todos os testes é composto por equações para a concentração das substâncias no meio reagente ( $\gamma_i$ ) escritas com base na cinética química e na forma exponencial (Kriukov, 1995). Equações de conservação da energia para o gás ( $H_g$ ), partículas e para todo o escoamento são utilizadas. A combustão das partículas é descrita por equações da taxa de liberação da matéria volátil ( $\bar{G}_V$ ), do carbono ( $\bar{G}_C$ ) e resíduos ( $\bar{G}_R$ ) (Costa *et al*, 1999) e uma equação que determina a razão de formação de  $CO$  e  $CO_2$  (Monson *et al*, 1996). A formulação é unidimensional e condições apropriadas de contorno e fronteiras são estabelecidas.

A entalpia e a entropia de todas as substâncias gasosas são calculadas por polinômios de sétimo grau, com coeficientes extraídos de Alemassov *et al* (1971). O calor específico é calculado por derivação da entalpia em relação à temperatura.

Neste trabalho estamos admitindo que a umidade contida na partícula é parte integrante da matéria volátil, sendo, portanto, liberada na mesma proporção dos voláteis. Os demais componentes da matéria volátil são:  $CH_4$ ,  $C_6H_6$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$  e  $CO$  em proporções análogas às utilizadas por Veras *et al* (1999). Sua liberação para o meio gasoso é imitada por reações de ordem zero cujas constantes de velocidades e respectivos coeficientes estão fundamentadas no modelo de Kobayashi *et al* (1976).

A transformação do carbono na superfície da partícula é função da temperatura e produz  $CO$  e  $CO_2$  pela reação superficial global proposta por Monson *et al* (1995), onde as reações individuais com suas respectivas constantes de velocidades são as mesmas propostas em Costa *et al* (1999) admitindo-as como reações de troca de massa. A combustão do material carbonoso ocorre paralelamente à combustão dos voláteis.

Os coeficientes para a taxa de consumo superficial de carbono na superfície da partícula foram estabelecidos a partir daqueles determinados por Monson *et al* (1995) para pressão igual a 1 atm e corrigidos empiricamente até o momento em que os resultados numéricos deste trabalho ficaram suficientemente próximos aos resultados numéricos de Veras *et al* (1999) e experimentais de Jost *et al* (1984). Uma boa concordância foi estabelecida considerando a diferenciada formulação entre os dois modelos.

As reações químicas que ocorrem no meio gasoso são simuladas mediante o uso da cinética química detalhada juntamente com sua influência na temperatura do gás ( $T_g$ ). Com o início das reações químicas admitimos mudanças na temperatura das partículas ( $T_p$ ) e do gás bem como mudança na velocidade do escoamento. A concentração do oxidante exerce influência na velocidade de combustão da partícula. A partícula contém, além do carbono e voláteis, outras substâncias não-combustíveis que são neste trabalho denominadas de resíduos.

Vamos admitir também que a transmissão de calor entre gás e partículas ocorra por condutividade térmica e por radiação. Em todas os testes, o gás e as partículas possuem a mesma velocidade ( $W$ ) e não há interação entre partículas. As partículas possuem forma esférica e todas possuem o mesmo diâmetro ( $d_p$ ). A condutividade térmica dentro da partícula é admitida infinitamente grande. A pressão ( $P$ ) é constante.

Como resultado do modelo matemático temos  $(n + 8)$  equações algébrico-diferenciais com o mesmo número de incógnitas:  $\gamma_i, \bar{G}_V, \bar{G}_C, \bar{G}_R, T_p, T_g, W, H_g, \varphi$ . Sua resolução só é possível numericamente e por métodos que se aplicam a sistemas de equações do tipo “stiff”. O método utilizado aqui é o mesmo descrito em Costa *et al* (1999).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Comparação com outras pesquisas

Os resultados obtidos pelo modelo para o consumo de massa das partículas são comparados aos resultados experimentais de Jost *et al* (1984) e numéricos de Veras *et al* (1999), obtendo boa concordância (Fig. 1).

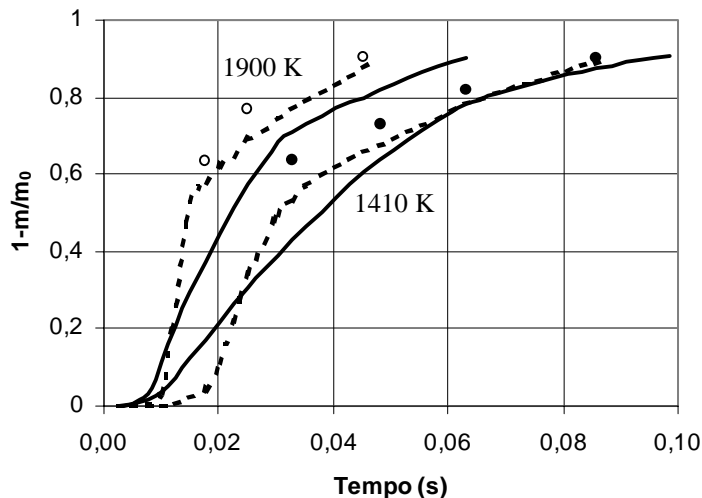


Figura 01. Comparação dos resultados preditos pelo modelo (—) e os resultados experimentais de Jost *et al* (○, ●) e numéricos de Veras *et al* (.....) para 1410 K e 1900 K.

Como podemos observar os consumos de massa previstos pelo modelo são um pouco mais lentos do que aqueles escolhidos para comparação. Com relação ao resultado numérico, isto pode ser facilmente explicado devido à diferença de formulação entre os modelos, no que se refere à utilização de reações superficiais com o carbono. Este trabalho, por exemplo, não considera a reação do carbono fixo com  $CO_2$ , o que com certeza influenciaria positivamente na rapidez da combustão, no entanto considera 136 reações elementares para a composição

gasosa e combustão dos voláteis. Aqui partículas e gás escoam no interior do canal, podendo ambos sofrer variação de temperatura. Além disso sabemos que, experimentalmente, quase sempre, ocorre fragmentação das partículas, no momento em que os voláteis são liberados, o que acelera a taxa de combustão. Tanto que Monson *et al* (1995), determinou suas taxas de combustão superficiais na ausência dos voláteis, pois sua presença afeta as referidas taxas. Este foi um dos motivos do ajuste feito por estes autores em seus coeficientes para a taxa de reação superficial com o carbono.

Em todos os testes realizados a temperatura da partícula nunca ultrapassou em 600 K a temperatura do gás. Estes resultados são condizentes com extensivas pesquisas experimentais de Pomerantsev *et al* (1986). Outras evidências, acerca da validade do modelo, serão citados no decorrer do texto.

### 3.2. A combustão de carvão pulverizado em base seca.

Alguns testes foram realizados considerando inicialmente a ausência de umidade no interior da partícula, utilizando-se os dados iniciais descritos a seguir.

Para o ar consideramos  $P=1 \text{ atm}$ ; 22% de  $O_2$  em fração de volume e 78% de  $N_2$ ;  $T_{go}=1200 \text{ K}$ . Onde  $P$ = pressão e  $T_{go}$  é a temperatura inicial do gás.

Para o carvão consideramos a fórmula condicional  $C_{7,032}H_{6,572}O_{0,438}Al_{0,0475}Si_{0,027}$  que foi obtida a partir da metodologia apresentada por Spilimbergo e Iskhakova (1996), tendo como base as seguintes frações de massa:  $Y_C = 0,494155$ ,  $Y_V=0,465462$  e  $Y_R=0,040383$ . Onde  $Y_C$  é a fração de massa do carbono,  $Y_V$  é a fração de massa dos voláteis e  $Y_R$  é a fração de massa dos resíduos. Os voláteis ficaram distribuídos com as seguintes frações de massa:  $Y_{CH_4} = 0,4375$ ,  $Y_{C_6H_6} = 0,4125$ ,  $Y_{O_2} = 0,0375$ ,  $Y_{CO} = 0,075$ ,  $Y_{CO_2} = 0,0375$

Os resíduos têm a fração de massa  $Y_{Al_2O_3} = 0,6$  e  $Y_{SiO_2} = 0,4$ . Também de acordo com Spilimbergo e Iskhakova (1996), determinamos a entalpia do carvão como sendo igual a  $-5.540 \text{ kJ/kg}$  baseados no poder calorífico igual a  $30.590 \text{ kJ/kg}$  (Veras *et al*, 1999). As características iniciais do escoamento são  $\alpha_{ox} = 1$ , consumo de carvão ( $G_{carvão}$ ) igual a  $0,01 \text{ kg/s}$ ; consumo de ar ( $G_{ar}$ ) igual a  $0,1117 \text{ kg/s}$ , área do canal igual a  $0,25 \text{ m}^2$  e temperatura da parede igual a  $800 \text{ K}$ .

Os coeficientes ajustados para o modelo global de Monson *et al* (1995), ficaram escritos como  $A = \frac{5 \text{ kg}}{m^2 s \text{ atm}^{0,5}}$  e  $E = 20,21 \cdot 10^6 \text{ J / kmol}$

Nas figuras 2(a) e 2(b) são apresentadas as características do escoamento reagente para as condições supra citadas. Observamos na Fig. 2(a) que a liberação dos voláteis é muito mais rápida do que a queima completa do carbono. Inicialmente a combustão do carbono é bastante rápida mas ao final do processo sofre uma redução em sua taxa de consumo.

Praticamente 70% do  $O_2$  é consumido nos primeiros 12 cm do canal, mas depois devido à redução das reações químicas, até pela sua pouca concentração, ele reduz-se lentamente. Fato interessante a observar é o comportamento das temperaturas do gás e partículas. Podemos observar pela Fig. 2(a) que existem 5 momentos distintos que devem ser destacados.

- 1) A temperatura do gás ( $T_g$ ) sofre um ligeiro declínio enquanto a temperatura das partículas ( $T_p$ ) sofre um grande salto (entre 0 e 2 cm).
- 2) A temperatura das partículas supera a temperatura do gás (entre 2 e 11 cm) e ambos aumentam seus valores.
- 3) A temperatura do gás dá um salto e ultrapassa  $T_p$  (entre 11 e 19 cm).
- 4) Novamente  $T_p$  supera  $T_g$  (entre 19 e 35cm).
- 5) Ambas tornam-se aproximadamente iguais (de 35cm em diante).

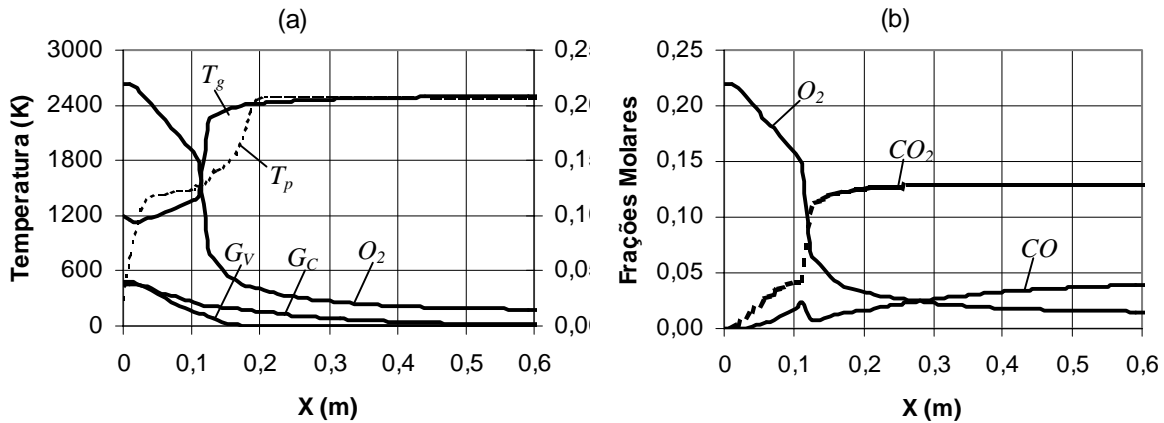
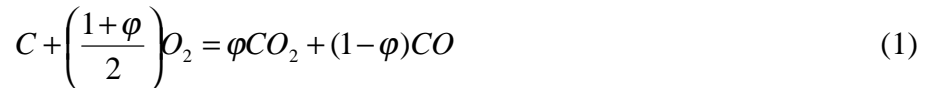


Figura 02. (a) Evolução das temperaturas do gás e partículas, concentração do  $O_2$  e consumos de carbono e voláteis no transcorrer do canal. (b) Frações molares do  $O_2$ ,  $CO$  e do  $CO_2$  no meio gasoso.

Para que possamos explicar adequadamente estes efeitos vamos envolver algumas das figuras apresentadas no item 3.3.

A respeito do momento 1, a redução de  $T_g$  é provocada pela transferência de energia do gás para as partículas, aquecendo-as e iniciando o processo de devolatilização. Com relação ao momento 2, podemos dizer que é provocado pela queima do carbono pela reação



originando no início principalmente  $CO_2$ , o que deve ocorrer na faixa de temperatura entre 1000 e 1800 K. Esta reação ocorre na superfície da partícula liberando considerável quantidade de calor que é em grande parte transferido para a partícula. A grande produção de  $CO_2$  pode ser comprovada pela observação da Fig. 2(b) que mostra o aparecimento do  $CO$  e do  $CO_2$  no meio gasoso.

Notemos que a fração em massa de  $CO_2$  na superfície da partícula é duas vezes menor que a fração de massa do  $CO$ , mas de acordo com a Fig. 2(b), nos primeiros 11 cm, a concentração de  $CO_2$  no meio reagente é bem maior que a concentração do  $CO$ . Esta situação é explicada mediante a combustão do carbono pela reação (1). Por este motivo o maior aquecimento da partícula. Pelas figuras 6(a) e 6(b) podemos observar, que nesta região os voláteis apenas aparecem no meio gasoso ainda não sofrendo ignição.

Depois de já suficientemente acumulados no meio gasoso, inicia-se a combustão dos voláteis formando a frente de chama, gerando grande quantidade de calor, que é difundido rapidamente para todo o meio gasoso. Este é o momento 3. Como resultado todos os componentes do meio reagente sofrem aumento de temperatura, mas a do gás é mais significativa, ultrapassando a da partícula. A frente de chama localiza-se aproximadamente entre 11 e 13 cm, o que pode ser comprovado pela observação da Fig. 2(a). Alterações bruscas nas concentrações do  $O_2$ ,  $CO$  e  $CO_2$  são observadas nesta região. Já na Fig. 6(a) e 6(b) vemos a completa extinção de  $CH_4$  e do  $C_6H_6$  do meio reagente.

Depois de queimados os voláteis, tem início o momento 4, isto é, a queima do restante do carbono, pois ainda restam aproximadamente 40% de sua massa na partícula. Novamente a temperatura da partícula cresce rapidamente superando a temperatura do gás. Mas esta superação é duas vezes menor que no momento 2, pois para temperaturas superiores a 2000 K, o carbono queima pela reação (1) gerando  $CO$  com menor efeito térmico. Este efeito é comprovado pelo aumento da concentração de  $CO$  no meio reagente logo depois da frente de chama (vide Fig. 2(b)).

No momento 5, as reações químicas ocorrem lentamente provocando apenas aumento de  $CO$  e consumo de  $O_2$ , queimando o pouco de carbono que ainda resta. Este atraso deve-se à baixa concentração de  $O_2$  no meio gasoso. Ao mesmo tempo, devido às trocas de calor, ambas as temperaturas tendem ao equilíbrio.

### 3.3. Influência da presença de umidade nas taxas de combustão e no meio reagente.

Em todos os testes realizados para a combustão de carvão úmido foram utilizadas as mesmas condições já citadas anteriormente, a exceção da composição do carvão que agora inclui água. Notemos que incluir uma porcentagem de massa de água nas partículas, significa, neste trabalho, uma redução na fração de massa dos demais componentes. A fórmula condicional e a entalpia do carvão são alteradas. Por exemplo, para 20% de umidade a fórmula condicional é dada por  $C_{5,6278}H_{7,4856}O_{1,4616}Al_{0,03800}Si_{0,02153}$  e a entalpia é dada por  $-8.638,5 \text{ kJ/kg}$ .

Nas figuras a seguir apresentamos os resultados obtidos para 0%, 20% e 40% de umidade nas partículas. Em geral, todas as peculiaridades inerentes à combustão do carvão seco são conservadas para o carvão úmido.

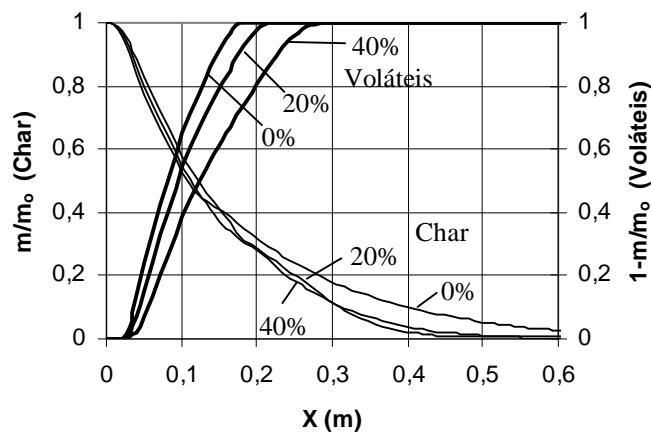


Figura 03. Comparação entre o consumo de massa para 0%, 20% e 40% de umidade na partícula. “Char”- eixo principal, voláteis – eixo secundário.

Na Fig. 3 observamos que, a medida em que é aumentada a umidade incrementa-se o tempo de liberação da matéria volátil, em compensação o tempo de queima do carbono fixo é reduzido. Notemos que para 20% e 40% de umidade a taxa de combustão do carbono fixo é acelerada. Este fato já foi relatado experimentalmente por Jung e Stanmore (1980). Esta particularidade é explicada, no modelo, considerando que ao acrescentarmos umidade, mantivemos constante o consumo de ar e de carbono. Por isto, a fração de oxigênio é relativamente aumentada. Além disso, para umidade 0%, a temperatura da mistura atinge patamares mais elevados. Por isto, na fase final de combustão, para o caso do carvão úmido, existe uma maior concentração de  $O_2$ , que acelera o processo, extinguindo com o carbono fixo antecipadamente.

As figuras 4(a) e 4(b) apresentam o comportamento das temperaturas da partícula e do gás, respectivamente, para 0%, 20% e 40% de umidade em fração de massa.

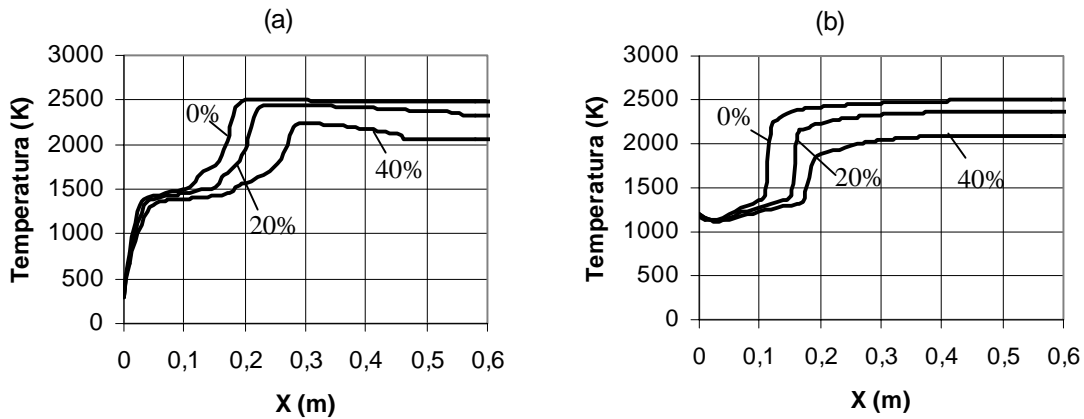


Figura 04. Comparação entre os valores obtidos para a temperatura da partícula (a) e temperatura do gás (b) considerando umidade 0%, 20% e 40% em massa.

Evidentemente, com o acréscimo da umidade, o gradiente de temperatura sofrido pelo gás, na frente de chama é bastante reduzido, no entanto, a diferença entre  $T_p$  e  $T_g$  exatamente no pico de  $T_p$ , é aumentada. Ocorre, que esta diferença aparece depois que a água já foi toda ela liberada da partícula, sendo sua influência mais acentuada no gás do que na partícula.

Relatamos nas figuras 5(a) e 5(b) a evolução das frações molares da água e do  $CO_2$ , principais substâncias componentes do escoamento no período pós-combustão.

Claramente, as maiores quantidades de umidade, correspondem a uma maior fração molar de  $H_2O$  e menor fração do  $CO_2$  ao final do processo. Devemos, no entanto, observar o fato da fração molar de água para o carvão seco superar a fração molar da água para o caso do carvão úmido na zona de combustão mais intensa. A causa principal deste entrelaçamento está na taxa mais intensa de combustão dos voláteis no meio gasoso para o caso da umidade zero.

Este fato pode ainda ser comprovado observando as figuras 6(a) e 6(b), nas quais mostramos a evolução dos voláteis  $CH_4$  e  $C_6H_6$  ao longo do canal. É evidente que com a redução da umidade, os picos das suas concentrações tornam-se mais estreitos e alongadas.

Papel interessante desempenham as substâncias intermediárias  $H_2$  e  $CO$  (Fig. 7(a) e 7(b)). Ambos apresentam picos na zona de combustão e depois crescem assintoticamente, dependendo do nível de umidade na partícula. Mas, como já mencionando anteriormente, quando aumentamos a umidade, aumentamos a concentração relativa de  $O_2$  no meio reagente. Por isto as reações são intensificadas no escoamento, provocando as reações do  $H_2$  e do  $CO$  com  $O_2$ , diminuindo as concentrações dos primeiros para maiores conteúdos de umidade.

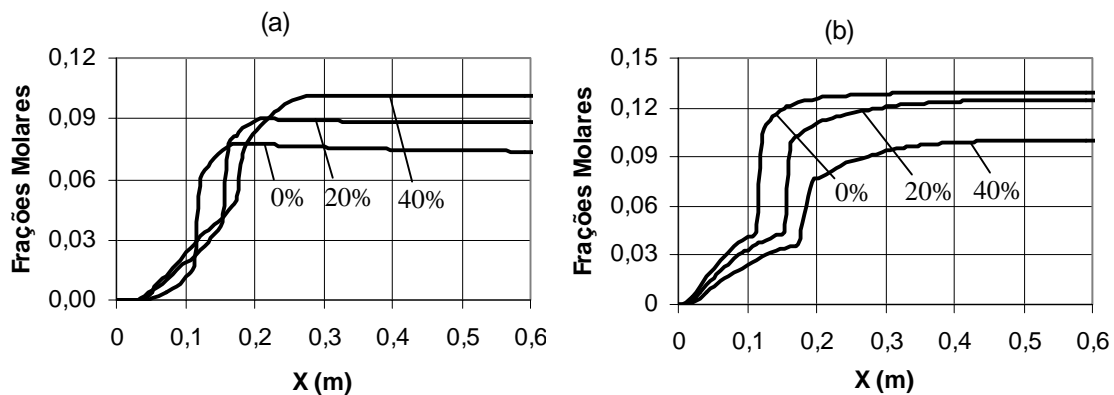


Figura 05. Evolução das frações molares da água (a) e do  $CO_2$  (b) no transcorrer do canal para 0%, 20% e 40% em massa de umidade na partícula.

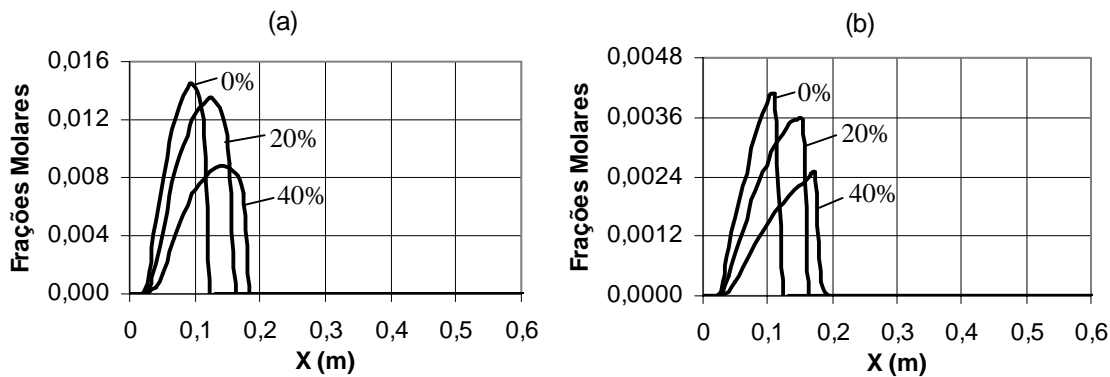


Figura 06. Evolução das frações molares do  $CH_4$  (a) e do  $C_6H_6$  (b) no transcorrer do canal considerando 0%, 20% e 40% de umidade em massa na partícula.

O detalhamento deste comportamento só pode ser feito por uma criteriosa análise no mecanismo cinético utilizado no modelo, o que não é objetivo deste trabalho.

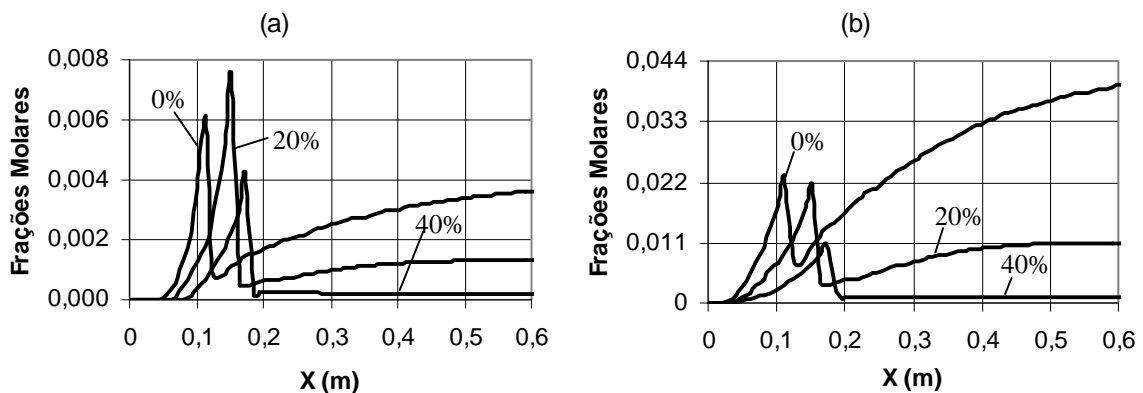


Figura 07. Evolução das frações molares do  $CO$  (a) e do  $H_2$  (b) no transcorrer do canal para 0%, 20% e 40% em massa de umidade na partícula.

#### 4. CONCLUSÕES

Algumas conclusões importantes são enumeradas a seguir.

- 1) O modelo desenvolvido por Costa *et al* (1999) obteve boa concordância com resultados numéricos e experimentais, tanto no sentido quantitativo quanto qualitativo. Podendo ser utilizado para grandes frações de massa de voláteis e de umidade no interior das partículas de carvão.
- 2) Com o devido ajuste nas taxas de combustão superficial pode-se constatar uma situação ainda não registrada na bibliografia pesquisada, isto é, alternância na majoração entre os valores das temperaturas do gás e partículas. Este fato é explicado tendo como base a física do problema.
- 3) A inclusão da umidade como parte constituinte da matéria volátil não afeta a performance do modelo, no entanto, sua presença altera os perfis de temperatura e a composição gasosa.
- 4) Com o aumento da umidade no carvão temos uma ligeira redução no tempo de combustão da partícula, um incremento na diferença  $T_p - T_g$  e uma menor produção de  $CO$ .



- 5) A água apresenta importante efeito catalítico na oxidação do  $CO$ , reduzindo consideravelmente sua concentração, conforme se constata na Fig. 7(a), enquanto que a razão  $CO_2/CO$  sofre grandes incrementos, passando de 3 quando consideramos 0% em água para aproximadamente 11 e depois para aproximadamente 98 para os casos de 20% e 40% de umidade, respectivamente.
- 6) Os voláteis, apesar de terem sua fração relativamente reduzida com a presença de umidade, são liberados mais lentamente com o seu incremento, provocando mudança na posição da frente de chama.

## REFERÊNCIAS

- Agarwal, P. K., Genetti, W. E. e Lee, Y. Y., (1986), Coupled drying and devolatilization of wet coal in fluidized beds. *Chemical Engineering Science*, Vol. 41, Nº 9, pp. 2373-2383.
- Alemassov, V. E., Dregalin, A. F., Tishin, A. P., Khudiakov, V. A. e Kostin, V. I., (1971), Propriedades termodinâmicas e termofísicas dos produtos de combustão. Guia, Vol. I. VINITI. Moscou, URSS, (em russo).
- Costa, V. J., Kriukov, V. G. e Maliska, C. R., (1999), Combustão de carvão pulverizado: uma análise numérica dos parâmetros principais. *Anais do XV Cobem, Águas de Lindóia, SP.*
- Jost, M. E., Leslie, I., e Kruger, C., (1984), 20º Symp. Inter. on Combustion/The Combustion Institute, pp. 1531-1537.
- Jung, K. e Stanmore, B. R., (1980), Fluidized bed Combustion of wet brown coal, *Fuel*, 59, pp. 74-80
- Kobayashi, H., Howard, J. B., e Sarofim, A. F., (1976), Coal Devolatilization at High Temperatures, *Proceedings, 17º Inter. Symp. on Combustion/The Combustion Institute*, p. 441.
- Krioukov, V.G., (1995), Modelagem Matemática para Emissão de Poluentes, *Anais do COBEM-CIDIM/95, Belo Horizonte - MG*
- Lau, C. W. e Niksa, S. (1992), The combustion of individual particles of various coal types. *Combustion and Flame*, 90, pp. 45-70.
- Monson, C. R., Germane, G. J., Blackham, A. U. e Smoot, L. D., (1995), Char oxidation at elevated pressures. *Combustion and Flame*, 100, pp. 669-683.
- Pomerantsev, V. V., Arefhev, K. M., Akhmedov, D. B., Konovich, M. N., Korchunov, J. N., Rundiguin, J. A., Shagalova, S. L., Shestakov, S. M., (1986), Fundamentos teóricos da prática da combustão. Leningrado, 2ª ed., *Energoatomisdat*. 312 p. (em russo).
- Spilimbergo, A. P., Iskhakova, R. L., (1996), Modelagem e pesquisa dos escoamentos reagentes em tubeiras. VI ENCIT/VI LATCYM, Florianópolis, SC, Brasil.
- Therssen, E., Gourichon, L. e Delfosse, L., (1995), Devolatilization of coal particles in a flat flame – experimental and modeling study. *Combustion and Flame*, Nº 103, pp. 115-128.
- Saastamoinen, J. J., AHO, M. J., Hämäläinen, J. P., Hernberg, R. e Joutsenoja, T., (1996), Pressurized pulverized fuel combustion in different concentrations of oxygen and carbon dioxide. *Energy & Fuels*, 10, pp. 121-133.
- Suuberg, E. M., Peters, W. A. e Howard, J. B., (1978), Product compositions and formation kinetics in rapid pyrolysis of pulverized coal – implications of combustion. 17º Symp. Inter. on Combustion/The Combustion Institute, pp. 117-130.
- Veras, C. A. G., Carvalho, Jr., J. A. e Saastamoinen, J. J., (1996), Effect on Pressure on Single Particle Combustion Rate, *Proceedings, 6 th Brazilian Congress of Engineering and Thermal Sciences, Florianópolis -SC*, pp. 225-230
- Veras, C. A. G., Saastamoinen, J., Carvalho Jr., J. A., e Aho, M., (1999), Overlapping of the devolatilization and char combustion stages in the burning of coal particles. *Combustion and Flame*, Vol. 116, pp. 567-579.

Walsh, P. M., Arunava, D., Beér, J., (1984), Char combustion in the freeboard above a fluidized bed burning a high volatile bituminous coal. 20° Symp. Inter. on Combustion/ The Combustion Institute, pp. 1487-1493.

## COMBUSTION OF WET PULVERIZED COAL IN REACTING FLOW

**Abstract:** *In this work I propose a numeric study destined to the combustion of wet pulverized coal in reacting flow. The mathematical model is composed by equations for the concentration of the substances in the reacting flow, written based in the chemical kinetics and exponential form, conservation equations and devolatilization equations, combustion of the carbon and residues. The study detects fluctuation among the temperatures of the gas and of the particles. The inclusion of the humidity as constituent part of the volatile matter doesn't affect the performance of the model, however, its presence alters the temperature profiles and the gaseous composition. With the increase of the humidity in the coal have a slight reduction in the time of combustion of the particle, what agrees with experimental data. The model foresees an increment in the difference  $T_p - T_g$  and a smaller production of CO with the increase of the wetness rate. The volatile ones, in spite of they have its fraction relatively reduced with the wetness presence they are liberated more slowly with its increment, provoking change in the position of front flame.*

**Keywords:** *Mathematical model, wet, pulverized coal combustion.*