

Análise Fluidodinâmica da Região de Gaseificação de um Gaseificador de Leite Fluidizado

Barbosa, K. R. M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
Katiamointeiro15@gmail.com

Silva, J. D.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo

A geração de energia através da queima de biomassa é uma alternativa sustentável devido à produção de energia com baixa emissão de poluentes e por possui uma fonte renovável, como bagaço de cana e resíduos plásticos, possibilitado gerar um equilíbrio entre o consumo e produção de gás carbônico. A gaseificação em leito fluidizado é uma forma de aumentar a eficiência do uso energético da biomassa. A fluidização baseia-se fundamentalmente na circulação de sólidos juntamente com um fluido (gás ou líquido) impedindo a existência de gradientes de temperatura, de pontos muito ativos ou de regiões estagnadas no leito; proporcionando também um maior contato superficial entre sólido e fluido, favorecendo a transferência de massa e calor. A eficiência na utilização de um leito fluidizado depende em primeiro lugar do conhecimento da velocidade mínima de fluidização. Abaixo desta velocidade o leito não fluidiza; e muito acima dela, os sólidos são carregados para fora do leito. Será desenvolvido um conjunto de equações a fim de analisar a sensibilidade das frações volumétrica, velocidade e pressão na região de fluidodinâmica.

1 Introdução

Os gaseificadores de leito fluidizado caracterizam-se pela formação de um leito de biomassa em suspensão produzido por efeito do fluxo de ar forçado através de um distribuidor. É importante o bom contato entre a biomassa e o ar no leito fluidizado para que haja uma transferência de massa e energia com facilidade. A parte vital do leito fluidizado é sua alimentação de ar e combustíveis visto que sofre uma variação na quantidade de gás consumido pela turbina.

A principal vantagem dos gaseificadores de leito fluidizado sobre o de leito fixo consiste na distribuição uniforme da temperatura na região de gaseificação, pois o material inerte de baixa granulometria, que mediante a injeção de ar ou outro agente de gaseificação em pressões acima da atmosférica, entra em regime de fluidização. O estado dinâmico do leito inerte(alumina, areia) assegura uma mistura homogeneia coma a biomassa alimentada e os gases quentes da combustão parcial (CENBIO,2002).

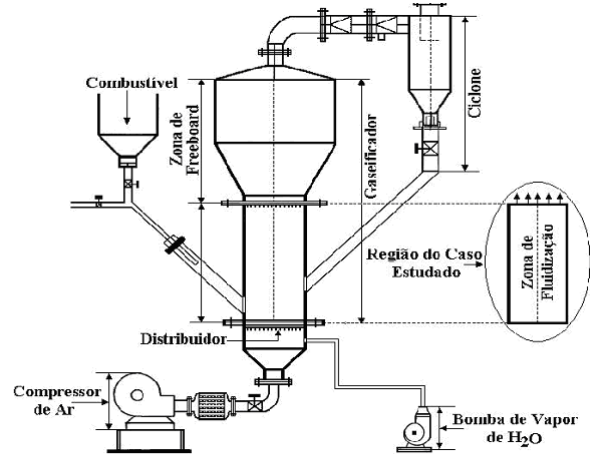
Os gases obtidos durante a gaseificação são provenientes de parte orgânica do combustível que se transforma principalmente em CO, H2, e em menos proporções no CH4 e outros compostos hidrocarbonetos. Sendo constituído também por outros gases inertes e elementos indesejáveis, como alcatrão, metais alcalinos, particulados sólidos, sulfetos de hidrogênio, amônia. Estes componentes devem ser removidos, para que não danifiquem os equipamentos que irão utilizá-los. (NETO,2001).

A limpeza pode ocorrer à baixa temperatura, por exemplo, por meio de filtragem(que ocorre em torno de 200°C) e lavagem, para remoção de particulados e condensáveis, após prévio resfriamento. A limpeza também pode ser realizada a média-alta temperatura (350° - 400°C), para sua utilização em turbinas a gás e células a combustível. Em geral, essa limpeza a quente é feita com emprego de filtros cerâmicos[Macedo ET AL. 2006].

2 Descrição do modelo matemático

No desenvolvimento do modelo, foram consideradas algumas hipóteses:

1. os fluxos são unidimensionais;
2. A fase fluida é compressível
3. Todas as partículas têm a mesma dimensão
4. O movimento irregular e a colisão das partículas são ignoradas
5. A fricção sobre a parede é desprezada. Além de ser restrito a zona de fluidização como é mostrada na figura abaixo:



O fluxo de combustível não é fácil de manter estável. Dessa forma, os modelos fluidodinâmicos permitem elaborar os balanços de massa e momento para traçar estratégia operacional que possibilitam a quantificação de variáveis operacionais estáveis (Arvelakis et al., 200, Savage, 1998).

- Balanço de massa para a fase gasosa;

$$\frac{\partial \xi_g}{\partial t} + V_g \frac{\partial \xi_g}{\partial z} = (1 - \xi_g) \frac{g}{V_g} \tag{1}$$

- Balanço de massa para a fase solida;

$$\frac{\partial \xi_s}{\partial t} + V_s \frac{\partial \xi_s}{\partial z} = (1 - \xi_g) \frac{g}{V_s} \tag{2}$$

- Balanço de momento para a fase gasosa;

$$\rho_g \left(\xi_g \frac{\partial V_g}{\partial t} + 2 \xi_g V_g \frac{\partial V_g}{\partial z} \right) = -\rho_g \left(V_g \frac{\partial \xi_g}{\partial t} + V_g^2 \frac{\partial \xi_g}{\partial z} \right) - (1 - \xi_s) \frac{\partial P}{\partial z} - \xi_g \rho_g g - F_s \tag{3}$$

- Balanço de momento para a fase sólida;

$$\rho_s \left(\xi_s \frac{\partial V_s}{\partial t} + 2 \xi_s V_s \frac{\partial V_s}{\partial z} \right) = -\rho_s \left(V_s \frac{\partial \xi_s}{\partial t} + V_s^2 \frac{\partial \xi_s}{\partial z} \right) - (1 - \xi_g) \frac{\partial P}{\partial z} - \xi_s \rho_s g - F_s \tag{4}$$

A soma da Equação (3) com a Equação (4) resulta em uma única equação para a pressão, assim expressa:

$$-\frac{\partial P}{\partial z} = \rho_s \left[\left(\xi_s \frac{\partial V_s}{\partial t} + V_s \frac{\partial \xi_s}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial V_s}{\partial z} 2\xi_s V_s + V_s^2 \frac{\partial \xi_s}{\partial z} \right) \right] + \rho_g \left[\left(\xi_g \frac{\partial V_g}{\partial t} + V_g \frac{\partial \xi_g}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial V_g}{\partial z} 2\xi_g V_g + V_g^2 \frac{\partial \xi_g}{\partial z} \right) \right] + (\rho_g \xi_g + \rho_s \xi_s)g \quad (5)$$

Condições iniciais	Condições de contorno
$\xi_g _{t=0} = 0$	$\xi_g _{z=0^+} = \xi_{g,0}$
$\xi_s _{t=0} = 0$	$\xi_s _{z=0^+} = \xi_{s,0}$
$V_g _{t=0} = 0$	$V_g _{z=0^+} = V_{g,0}$
$V_s _{t=0} = 0$	$V_s _{z=0^+} = V_{s,0}$
—	$P _{z=0^+} = P_0$

Pelas condições iniciais e discretizando as condições de contorno depois ao reorganizar as equações de balanço de massa e momento para as fases gasosas e sólidas foi possíveis chegar às seguintes equações:

- Balanço de massa para a fase gasosa, discretizado;

$$\frac{d\xi_g}{dt} = \left[1 - (\xi_g)_j^{(k)} \right] \frac{g}{(V_g)_j^{(k)}} - \frac{2(V_g)_j^{(k)}}{\Delta z} \left[\xi_{g,0} - (\xi_g)_j^{(k)} \right] \quad (6)$$

- Balanço de massa para a fase sólida, discretizado;

$$\frac{d\xi_s}{dt} = \left[1 - (\xi_s)_j^{(k)} \right] \frac{g}{(V_s)_j^{(k)}} - \frac{2(V_s)_j^{(k)}}{\Delta z} \left[\xi_{s,0} - (\xi_s)_j^{(k)} \right] \quad (7)$$

- Balanço de momento para a fase gasosa, discretizado;

$$-\frac{dV_g}{dt} = \frac{[1 - (\xi_g)_j^{(k)}]}{(\xi_g)_j^{(k)}} \left\{ g + \frac{2}{\rho_g \Delta z} [P_0 - (P)_j^{(k)}] \right\} + \frac{4(V_g)_j^{(k)}}{\Delta z} [V_{g,0} - (V_g)_j^{(k)}] + \frac{(F_s)_j^{(k)}}{\rho_g (\xi_g)_j^{(k)}} + g \quad (8)$$

- Balanço de momento para a fase sólida, discretizado;

$$-\frac{dV_s}{dt} = \frac{[1 - (\xi_s)_j^{(k)}]}{(\xi_s)_j^{(k)}} \left\{ g + \frac{2}{\rho_s \Delta z} [P_0 - (P)_j^{(k)}] \right\} + \frac{4(V_s)_j^{(k)}}{\Delta z} [V_{s,0} - (V_s)_j^{(k)}] + \frac{(F_s)_j^{(k)}}{\rho_s (\xi_s)_j^{(k)}} + g \quad (9)$$

Nas quais as equações constitutivas discretizadas são dadas por:

$$-\frac{dP}{dz} = \rho_s \left\{ -g \left[1 - (\xi_s)_j^{(k)} \right] - \frac{2[1 - (\xi_s)_j^{(k)}]}{\rho_s \Delta z} [P_0 - (P)_j^{(k)}] - \frac{(F_s)_j^{(k)}}{\rho_s} + \frac{2(V_s)_j^{(k)}}{\Delta z} \left[\xi_{s,0} - (\xi_s)_j^{(k)} \right] \left[1 + (V_s)_j^{(k)} \right] \right\} + \rho_g \left\{ -g \left[1 - (\xi_g)_j^{(k)} \right] - \frac{2[1 - (\xi_g)_j^{(k)}]}{\rho_g \Delta z} [P_0 - (P)_j^{(k)}] - \frac{(F_s)_j^{(k)}}{\rho_g} + \frac{2(V_g)_j^{(k)}}{\Delta z} \left[\xi_{g,0} - (\xi_g)_j^{(k)} \right] \left[1 + (V_g)_j^{(k)} \right] \right\} \quad (10)$$

As equações: (1) a (4) são insuficiente para dar uma resposta específica do problema. Sendo necessário complementar com as seguintes equações:

$$F_s = \frac{(\rho_s - \rho_g) g \varepsilon_g (1 - \varepsilon_s)^{(1-n)} (v_g - v_s)}{v_i} \quad (11)$$

$$v_i = \left(\frac{\rho_s - \rho_g}{\rho_s} \right) g \tau \quad ; \quad \tau = \frac{d_p^2 \rho_s}{k \mu_g} \quad (12)$$

3 Metodologia numérica

O sistema analisado consiste das equações fundamentais de balanço de massa para as fases gasosa e sólida, como também das equações de balanços de momento para as fases gasosas e sólidas e uma equação para a pressão obtido através da soma das equações de balanço de momento das fases gasosas e sólidas. Os conjuntos de equações desenvolvidos formam um sistema de equações parciais (EDPs) unidimensionais. O sistema de EDPs foi resolvido com a implementação do método das diferenças finitas implícito (MDFI) usando o esquema de Crank-Nicolson.

A partir das Equações (6) a (12), const constrói-se o SEA com equações em função de (k+1) e (k). O SEA foi resolvido com a implementação do método Rang Kutta Gil.

3 Resultados e discussões

Os parâmetros utilizados para a realização da simulação estão expressos abaixo:

Parâmetros	Unidade
$\rho_s = 1,21$	$kg.m^{-3}$
$\rho_g = 1150$	$kg.m^{-3}$
$\mu_g = 1,8 \times 10^{-5}$	$Pa.s$
$g = 9,8$	$m.s^{-2}$
$d_g = 500$	μm
$n = 1,37$	-
$k = 0,8$	-
$\Delta t = 10^{-2}$	s

Figura - 1: Perfis da Fração volumétrica da fase gasosa na saída do gaseificador de leito fluidizado em contracorrente com comprimento de 1m

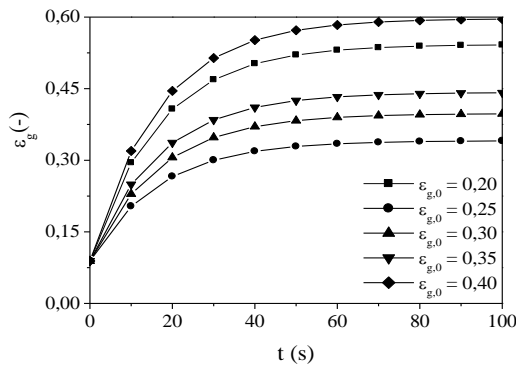
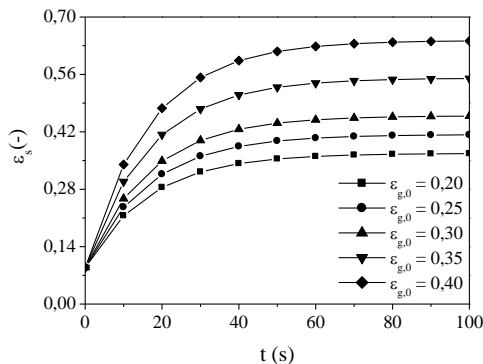


Figura - 2: Perfis da Fração volumétrica da fase sólida na saída do gaseificador de leito fluidizado em contracorrente com comprimento de 1m



As figuras 1 e 2 mostram a evolução dinâmica das frações volumétricas ξ_g e ξ_s em $z=H$. Observa-se que houve um aumento destas frações com o aumento do parâmetro $V_{g,0}$ na entrada do sistema. As frações volumétricas vão encontrar um estado estacionário em torno de $t = 100$. As duas frações apresentaram um resultado bastante parecidos.

Figura - 3: Perfis da velocidade superficial da fase gasosa na saída do gaseificador de leito fluidizado borbulhante em contracorrente com comprimento de 1m

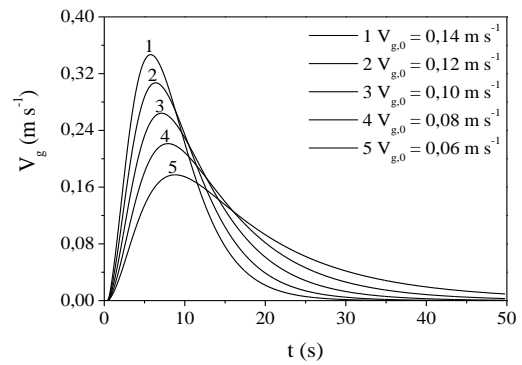
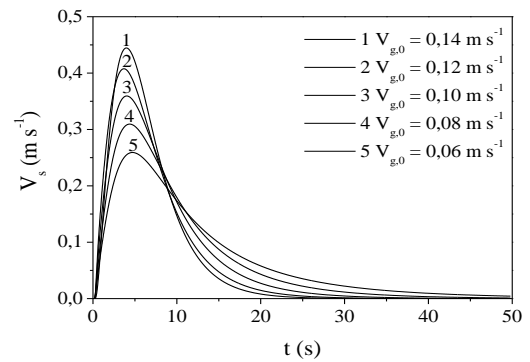
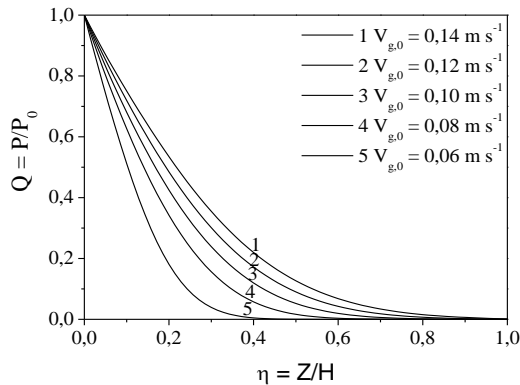


Figura - 4: Perfis da velocidade superficial da fase sólida na saída do gaseificador de leito fluidizado borbulhante em contracorrente com comprimento de 1m



As figuras 3 e 4 mostram a evolução dinâmica das frações dinâmicas das velocidades das fases gasosa e sólida V_g e V_s em $z=H$. Os gráficos mostram que tais frações também sofreram um aumento substancial com o aumento da variável $V_{g,0}$ de entrada, porém até os 5s a 8s na fração V_g e nos 4s a 5s na fração V_s houve uma queda até zero. Pode-se observar também que com o aumento da variável de entrada $V_{g,0}$ a queda das frações V_g e V_s foi mais rápida.

Figura - 5: Perfis da queda de pressão no gaseificador de leito fluidizado borbulhante em contracorrente com comprimento de 1m



A figura 5 apresenta o campo de pressão ao longo da região de fluidização. Observa-se o efeito de velocidade $V_{g,0}$ de entrada sobre a pressão no interior do LF. Mostrando no gráfico que a velocidade se apresentou proporcional ao aumento de pressão até zerar.

4 Conclusão

Esse trabalho pode-se entender como funciona um gaseificador de leito fluidizado, compreendendo suas vantagens a fim de desenvolver uma análise da sensibilidade das variáveis $\xi_g, \xi_s, V_g, V_s, P$ para a região específica de fluidização. Foi desenvolvida uma modelagem da qual foi empregada variáveis de entrada $\xi_{g,0}$ e $V_{g,0}$ mostrando sua influência sobre o processo gás-sólido a fim de ser consideradas no controle no processo desse equipamento. E não fica restrito o uso apenas dessas variáveis de entrada, as outras variáveis $\xi_{s,0}$ e $V_{s,0}$ também podem ser testadas.

5 Agradecimentos

Os autores deste artigo gostariam de agradecer ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte financeiro dado. (Processo 48354 / 2010 / Projeto / Título: Análise Fluidodinâmica da Região de Gaseificação de um Gaseificador de Leito Fluidizado. / Edital CNPq 15 / 2010 – Universal).

6 Nomenclatura

D_p - Diâmetro das partículas, m
 F_s - Força de interação entre as fases gasosa e sólida por unidade de volume, $\text{kg s}^{-2} \text{m}^{-2}$

g - Aceleração da gravidade, m s^{-2}

H - Comprimento da zona de fluidização, m

k - Constante da Equação (9)

n - Constante da Equação (10)

P - Pressão, Pa

P_0 - Pressão inicial, Pa

t - Coordenada temporal, s

V_g - Velocidade da fase gasosa, m s^{-1}

$V_{g,0}$ - Velocidade da fase gasosa inicial, m s^{-1}

V_s - Velocidade da fase sólida, m s^{-1}

V_t - Velocidade terminal da partícula dolíquido, m s^{-1}

z - Coordenada espacial, m

Letras Gregas

ϵ_g - Fração volumétrica da fase gasosa

$\epsilon_{g,0}$ - Fração volumétrica da fase gasosa inicial

ϵ_s - Fração volumétrica da fase sólida

μ_g - Coeficiente de viscosidade da fase gasosa, Pa s

ρ_g - Densidade da fase gasosa, kg m^{-3}

ρ_s - Densidade da fase sólida, kg m^{-3}

τ - Fator de relaxação ($0 \leq \tau \leq 1$) para a fase gasosa, s

Q - Pressão, adimensionalizada

Δt - Passo de tempo, s

ζ - Comprimento da zona de fluidização, adimensionalizado

Referências

- [1] NEIVA, A.C.B. Estudo de alimentadores de Bagaço Dissertação de Cana para Reatores Atmosféricos, de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP. Campinas, 1998.
- [2] SÁNCHEZ, C.G. Estudo da volatilização e da gaseificação de biomassa em leito fluidizado, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP. Campinas, 1994.

- [3] ROSAL, A.G.C. Modelagem e simulação de um gaseificador de biomassa em leito fluidizado borbulhante para produção de energia, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE. Recife, 2008.
- [4] Prof. Dr. Marcello Nitz e Prof. Dr. Roberto Guardani Fluidização Gás-Sólido – Fundamentos e Avanços Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia e Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica da USP
- [5] Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável / organização BNDES e CGEE. – Rio de Janeiro: BNDES, 2008.
- [6] Prof. L. GUALBERTO, L. Comparação entre tecnologias de gaseificação de biomassa existentes no Brasil e no exterior e formação de recursos humanos na região norte. Cidade Universitária - São Paulo
- [7] NETO, V.C Análise da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural. Dissertação de Mestrado/ CPPE – UFRJ, 2001.
- [8] COELHO, ST., MARTINS, O.S., SANTOS, S.M.A. Estado da arte da gaseificação. CENBIO, 2002.
- [9] ARVELAKIS, P.; VOURLIOTIS, E.; KAKARAS E.; G. KOUKIOS, G., (2001), "Effect of leaching on the ash behavior of wheat straw and olive residue during fluidized bed combustion". Biomass and Bioenergy, v.26,p459-470.