



20º Congresso de Iniciação Científica

ESTUDO E MODELAGEM TERMODINÂMICA DOS PROCESSOS DE SECAGEM E PIRÓLISE EM GASEIFICADOR DE LEITO FLUIDIZADO PARA BIOMASSAS. BAGAÇO DE CANA, PALHA DE CANA E DE ARROZ

Autor(es)

MAYARA CONSTÂNCIO REZENDE

Orientador(es)

ANTONIO GARRIDO GALLEGO

Apoio Financeiro

FAPIC/UNIMEP

1. Introdução

Trata-se de um trabalho de modelagem e simulação das etapas de secagem e pirólise de partículas de biomassa (bagaço de cana, palha de arroz e palha de cana) aplicado a um gaseificador de leito fluidizado, que opera em regime permanente. Este trabalho envolve o estudo na literatura aberta sobre os modelos desenvolvidos para secagem e pirólise de biomassas, e a elaboração a partir das equações fundamentais de conservação de massa e energia, de um modelo que permite avaliar a influência dos processos de secagem e pirólise em gaseificadores de biomassa. Os resultados obtidos a partir das simulações serão comparados com resultados disponíveis na literatura e com dados experimentais obtidos em gaseificadores similares ao do modelo. Pretende-se neste trabalho não somente elaborar a um programa que apresente resultados na fronteira do equipamento, mas também apresentar perfis de temperatura e concentração simulados ao longo da altura do leito do gaseificador e da espessura da partícula de biomassa. Destaca-se que a altura das regiões de pirólise, secagem e aquecimento nos estudos de gaseificadores são normalmente desprezadas, e alguns autores destacam as regiões de pirólise, secagem e aquecimento, podem representar até cerca de 3/4 da altura do leito, logo conhecer o comportamento destes processos é de grande importância na modelagem de gaseificadores. Neste trabalho pretende-se estudar alguns parâmetros operacionais importantes como a influência da umidade e o tamanho da partícula, das propriedades como a condutividade térmica e da entalpia de reação da pirólise, no desempenho do gaseificador.

2. Objetivos

Este projeto visa desenvolver estudos e modelos computacionais que representem o comportamento dos processos de aquecimento, secagem e gaseificação em gaseificador de biomassa. E realizar balanços de massa, energia e de segunda lei nos sistemas com o objetivo de indicar os pontos de maiores irreversibilidades, a fim de realizar análises de sensibilidade para determinar as variáveis mais importantes na operação durante as fases de secagem e de pirólise em gaseificadores de leito fluidizado.

3. Desenvolvimento

Para realizar o estudo dos processos de secagem e da pirólise de biomassa, foi desenvolvido um programa computacional que agregava modelos propostos por vários pesquisadores e que estavam disponíveis na literatura. O programa desenvolvido destina-se a analisar os processos de aquecimento, secagem e pirólise de uma partícula de combustível. Partículas sólidas de combustível, independentemente de suas propriedades de combustível, são submetidas a vários processos antes e durante o processo de queima. Estes incluem o aquecimento, a secagem, a pirólise ou desvolatilização e a fragmentação de combustão primária dos voláteis e o carvão residual com ou sem fragmentação de carvão residual secundário. O conhecimento da cinética de secagem e desvolatilização em combinação com a dinâmica dos fluidos são importantes para uma melhor interpretação das variações de comportamento da operação de um combustível úmido. Perfil de temperatura é decisivamente afetado pela evaporação da água e da liberação de voláteis. Nemtsov e Zabaniotou (2008) destacam que o modelo de partículas discretas (em inglês Modelling of a single fuel particle-DPM) para o estudo dos fenômenos de fluxo, são utilizados na investigação de problemas de engenharia químicas na área de fluidização e não apenas de biomassa. O DPM descreve a fase gasosa, como um processo contínuo, enquanto que cada um dos indivíduos, as partículas são tratadas como uma entidade discreta, sendo que as interações que podem ocorrer são entre gás-partícula e partícula-partícula. Além disso, a utilização do modelo de partículas discretas (DPM) permite a simultânea 'medição' de várias propriedades, tais como o gás e velocidades das partículas, bem como a porosidade, o que é difícil, se não impossível de alcançar por experimentação direta. As taxas de aquecimento em leitos fixos e fluidizados são muito elevadas, por conseguinte, a fase de aquecimento é curta podendo ser negligenciada com segurança, de tal forma que pode ser assumido que a secagem começa no momento em que a partícula de combustível entra na câmara de combustão, sendo que no caso do programa desenvolvido, destaca-se que a taxa de aquecimento no programa desenvolvido é estabelecida a partir da temperatura dos gases produzidos no processo de gaseificação (deve ser destacado que este processo não está incluso no programa), sendo a transferência de calor entre os gases e a partícula ocorre a partir dos mecanismos de convecção e radiação. A modelagem do processo de secagem segue o modelo de núcleo não-exposto ou modelo de núcleo-encolhido. O modelo é representado pela figura 01, o núcleo, onde as reações ocorrem, está rodeada por uma casca material inerte. Portanto, como o gás produzido na reação se difunde através do material entre o núcleo e a superfície, sendo que o núcleo é continuamente atacado. No entanto, a superfície do núcleo não está diretamente exposta a reagir ambiente de gás (SANTOS, 2005). Para a utilização deste modelo foi considerado que o vapor d'água é transferido a partir da interface núcleo (material molhado) por meio da camada de casca (material seco). Água é encontrada no estado líquido dentro no interior dos poros do núcleo.

4. Resultado e Discussão

A partir da validação do programa, foram realizadas simulações visando identificar a influência do tamanho da partícula, velocidade de fluidização, teor de umidade e da temperatura do gaseificador no tempo de secagem, nos produtos obtidos da pirólise e dos gases produzidos na pirólise, deve ser destacado que esta última etapa é mais difícil porque seria necessário trabalhar com o programa levando em conta o processo de gaseificação ou combustão, logo para este item foram utilizadas correlações empíricas destinadas a se obter uma previsão da concentração dos gases formados no processo de pirólise. Na tabela 1 apresentam-se as principais características da madeira utilizada nas simulações. Verifica-se que com o aumento da temperatura dos gases do gaseificador, não houve melhora na formação na quantidade dos voláteis ou redução do carbono não reagido, houve apenas a diminuição do tempo de secagem e do processo de pirólise. Destaca-se que um aumento da temperatura do reator implica em maior consumo de energia, logo pelos valores obtidos, não se verifica a necessidade do aumento da temperatura do reator. Os resultados obtidos estão em concordância com Rodrigues (2008) que destaca que para maiores tamanhos de partícula implicam em menores taxas de queima do coque, devido à dificuldade da difusão de oxigênio da superfície para o centro ocorre um decaimento com o aumento do diâmetro da mesma. O aumento da temperatura favorece o processo de liberação dos voláteis, por consequência a ignição da partícula e estabilização da chama. O efeito foi observado em tamanhos maiores de partículas por atrasar ligeiramente o processo de queima. A influência das constantes cinéticas de pirólise pode ser observada pelas perdas de massa volátil e na intensidade de aquecimento na partícula. Sendo que os autores estudados, utilizaram biomassas diferentes, tanto quanto a composição e estrutura física, explicando, assim, tais disparidades entre resultados. A partir da análise realizada é possível verificar que para pequenos diâmetros (menor que 1 mm) o efeito do processo de secagem pode ser desprezado, mas isso não ocorre para partículas maiores. A formação de voláteis depende da temperatura, mas existem condições nas quais, o aumento da temperatura do processo não representa um aumento significativo de mais gases voláteis. Como foram estudados somente os processos de secagem e pirólise, existe a agora a necessidade de acoplar estes dois processos ao processo completo envolvendo a combustão ou a gaseificação, e desta forma possibilitar identificar a fração de cada componente que forma os gases voláteis.

5. Considerações Finais

Baseado em Franks (1972), Burden e Raires (1998), Moghtaderi (2006), Santos (2005) e, também, por Babu e Chaurasia (2002) este trabalho propõe a modelagem termodinâmica do processo de gaseificação, pirólise e secagem de uma partícula isolada de biomassa. Estudou-se a madeira como elemento central de pesquisa por suas características já especificadas em trabalho de autores renomados utilizados neste projeto. Para validação do programa, foram realizadas simulações e comparados os resultados obtidos com os disponíveis na literatura. Desta forma foram realizadas simulações compatíveis os dados apresentados por Babu e Chaurasia (2002).

Nesta modelagem foi verificada a influência da taxa de aquecimento da partícula e a estimativa do tempo do processo de pirólise, além de verificar a partir de que temperatura este processo ocorre com maior intensidade. Consta-se, então, que o comportamento e resultados apresentados por Babu e Chaurasia são similares com o programa deste trabalho, conseguindo representar de forma satisfatória os processos de pirólise. A influência do tamanho da partícula e da umidade no tempo de processo de pirólise foi analisada com partículas de diâmetro de 1, 5 e 10 mm, com umidade inicial de 15 e 50%. Todas estas partículas foram submetidas aos gases com temperatura de 800°C e velocidade de 0,3 m/s, destacando-se que estas condições são compatíveis para um gaseificador em leito fixo. Em todos os casos analisados as partículas foram consideradas isotérmicas, já que o Biot em todos os casos foi igual ou inferior a 0,1. Assim, teve-se que, diâmetros inferiores a 1 mm, a umidade a variação de umidade não tem pouca influência no tempo de secagem. Diâmetros maiores que 5 mm o teor de umidade tem grande influência no tempo de secagem, devido ao aumento da resistência de difusão de massa, o que dificulta a difusividade da água através da estrutura da biomassa, retardando o processo de pirólise. Verificou-se que com o aumento da temperatura dos gases do gaseificador, não houve melhora na formação na quantidade dos voláteis ou redução do carbono não reagido, houve apenas a diminuição do tempo de secagem e do processo de pirólise. Destaca-se que um aumento da temperatura do reator implica em maior consumo de energia, logo pelos valores obtidos, não se verifica a necessidade do aumento da temperatura do reator. Dados cuja validação foi possível a partir da concordância com Rodrigues (2008) que destaca que para maiores tamanhos de partícula implicam em menores taxas de queima do coque, devido à dificuldade da difusão de oxigênio da superfície para o centro ocorre um decaimento com o aumento do diâmetro da mesma. A influência das constantes cinéticas de pirólise pode ser observada pelas perdas de massa volátil e na intensidade de aquecimento na partícula. Sendo que os autores estudados, utilizaram biomassas diferentes, tanto quanto a composição e estrutura física, explicando, assim, tais disparidades entre resultados. Como foram estudados somente os processos de secagem e pirólise, existe a agora a necessidade de acoplar o processo completo envolvendo a combustão ou gaseificação, e desta forma, em trabalhos futuros, espera-se implementar e validar rotinas de processamentos, possibilitando a identificação da fração de cada componente que forma os gases voláteis, as reais condições de gaseificação/combustão, complexas reações de cinética, assim como as características de diferentes biomassa realizadas por métodos experimentais.

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, M.B.B., Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica da palha da cana-de-açúcar e seu co-processamento com gás-óleo em craqueamento catalítico, Dissertação de mestrado Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008
- ANDRADE, V.R., Gaseificação de Biomassa: Uma Análise Teórica e Experimental, Dissertação de doutorado Universidade Federal de Itajubá, 2007.
- BRIDGWATER, A.V., Fast pyrolysis processes for biomass, G.V.C. Peacocke, 2001.
- BURDEN, R.L., RAIRES, J.D. Numerical analysis-4th ed. Boston: PWS-Kent Publishing Company, 1988.
- CEPEL Centro de Pesquisa em Energia Elétrica. Manual de Aplicação de Sistemas Descentralizados de Geração de Energia Elétrica para Projetos de Eletrificação Rural Energia Biomassa. Eletrobrás, Rio de Janeiro RJ, 2000. 41 p.
- FRANKS, R.G.E. Modeling and simulation in chemical engineering. New York: John Wiley, 1972.
- GOMES, E.O., Construção e avaliação preliminar de um reator de leito fluidizado para gaseificação de bagaço de cana-de-açúcar, Dissertação de mestrado - UNICAMP, 1996
- SILVA, M.B., MORAIS, A.S., ENGEP, Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e grau de compactação, ENEGEP Encontro nacional de engenharia de produção, 2008
- ROCHA, J.D., GÓMEZ, E.O., PÉREZ, J.M.M., CORTEZ, L.A.B., SEYE, O., GONZÁLEZ, L.E.B., The demonstration fast pyrolysis plant to biomass conversion in brazil, WREC World Renewable Energy Congress, Publicado por Elsevier Science Ltd., 2002
- ROCHA, J.D., PÉREZ, J.M., CORTEZ, L.A.B., Aspectos teóricos e práticos do processo de pirólise de biomassa. Editora: UNICAMP, 2004.
- MELO, B.A., Avaliação Computacional de um sistema de Gaseificação em leito Fluidizado utilizando o software CSFB, Itajubá. Dissertação de mestrado Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, 2008
- CENBIO, COMPARAÇÃO ENTRE TECNOLOGIAS DE GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA EXISTENTES NO BRASIL E NO EXTERIOR E FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS NA REGIÃO NORTE. Arte da gaseificação, em cembio.org.br, 2002
- SANTOS, F.A., MODELO MATEMÁTICO PARA A COMBUSTÃO DE PARTÍCULA ISOLADA DE BIOMASSA, Dissertação de mestrado Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, 2005
- MOGHTADERI, B., The state-of-the-art in pyrolysis modelling of lignocellulosic solid fuels, InterScience, 2004.
- NITZ, M., GUARDANI, R., Fluidização Gás-Sólido Fundamentos e Avanços. Disponível em www.maua.br/arquivos/.../h/621051b55435fbeb33092d9c92c0cb6 Acesso em janeiro de 2012.
- NOGUEIRA, L.A.H., LORA, E.E.S. Dendroenergia: fundamentos e aplicações, 2ª edição. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003.
- NUSSBAUMER, T, NEUENSCHWANDER, P, HASLER, P, JENNI, A, BÜHLER, R. Technical and Economic Assessment of the Technology for the Conversion of Wood to Heat, Electricity and Synthetic Fuels. Proceedings of the 10th European Conference Biomass for Energy and Industry. Würzburg, 1998. pp. 1142-1145.
- PEREZ, J.M.M., Testes em uma planta de pirólise rápida de biomassa em leito fluidizado: critérios para sua otimização, Dissertação

de doutorado Faculdade de engenharia da UNICAMP, 2004

PEREZ,J., BORGE, D., AGUDELO,J., Proceso de gasificación de biomasa: una revisión de estudios Teóricos experimentales, Redalyc, 2009.

PEREZ,J.M.M, CORTEZ, L.A.B., GOMEZ, E.O., ROCHA, J.D., GONZALEZ, L.H.B., NUNHES, J.R., Tecnologia de leito fluidizado para pirolise rápida de biomassa vegetal. Campinas: Núcleo Interdisciplinar de planejamento energético - NIPE, UNICAMP, 2003.

ROCHA,J.D., Mesa, J.M., Barboza,L.A., Brossard Junior,L.E.,Pirólise rápida em leito fluidizado: uma opção para transformar biomassa em energia limpa, Editora: Unicamp, 2003

SANCHEZ, C.G., Tecnologia da gaseificação de biomassa. Campinas: Editora Átomo, 2010.

SANCHEZ, C. Disciplina IM-338 Tecnologia de gaseificação. Campinas: Departamento de Térmica e Fluidos, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, 2003.

WALTER, A. C. S., NOGUEIRA, L. A. H., Produção de Eletricidade a partir da Biomassa. In: Biomassa para Energia, (CORTEZ, LORA e GÓMEZ), capítulo XI, Campinas, 2008.

Rodrigues, R., MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UM GASEIFICADOR EM LEITO FIXO PARA O TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS

SÓLIDOS DA INDÚSTRIA CALÇADISTA, Dissertação de mestrado Faculdade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

SANTOS, F.A., MODELO MATEMÁTICO PARA A COMBUSTÃO DE PARTÍCULA ISOLADA DE BIOMASSA, Dissertação de mestrado Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, 2005

Anexos

Madeira	Emissividade	0,95
	Constantes Cinéticas	
	K1	0,367
	K2	0,072
	K3	64,91
	Energia de ativação [J/mol]	81000
	Densidade	651 [Kg/m ³]
Condutividade	0,37 [W/mk]	
	Raio (mm)	1 a 8
Gás	Densidade	0,32 [Kg/m ³]
	Condutividade	0,07 [W/m K]
	Temperatura entrada do ar	25 [C]
	Temperatura do gás	800 [C]

