

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

SIMULAÇÃO DE UM GASEIFICADOR DE LEITO FLUIDIZADO PARA GERAÇÃO DE GÁS DE SÍNTESE UTILIZANDO BIOMASSA PROVENIENTE DE PODAS URBANAS

AUTORES:

José Mateus Mendonça da Silva
Marcos Gabriel Lopes da Silva
Allan de Almeida Albuquerque

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Pernambuco

SIMULAÇÃO DE UM GASEIFICADOR DE LEITO FLUIDIZADO PARA GERAÇÃO DE GÁS DE SÍNTESE UTILIZANDO BIOMASSA PROVENIENTE DE PODAS URBANAS

Resumo

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) assumem uma posição de destaque como um dos principais componentes presentes nos resíduos gerados na região nordeste do Brasil. Sendo uma parcela significativa desses resíduos destinada a locais inadequados para seu descarte, a exemplo disso tem-se o depósito em aterros controlados e lixões. Nestes locais, existem grandes possibilidades de contaminação do solo e lençol freático, geração de gases tóxicos e potencializadores do efeito estufa, ambos podendo culminar em graves danos ao meio ambiente. Por outro lado, a crescente demanda por fontes de energia alternativas e sustentáveis em detrimento das esgotáveis fontes de petróleo, demandam o desenvolvimento de tecnologias limpas e inovadoras que por sua vez envolvem a exploração do potencial energético presente nos RSU. As podas provenientes destes rejeitos representam uma oportunidade valiosa para a geração de energia renovável tendo em vista sua composição orgânica que apresenta grande quantidade de carbono, que podem ser transformadas em biocombustíveis por meio de processos termoquímicos ou bioquímicos. Os processos termoquímicos mais comuns incluem combustão, pirólise e gaseificação, a gaseificação emerge como um processo altamente eficaz que converte a biomassa presente nos RSU em gás de síntese (syngas), sendo este precursor de diversos biocombustíveis e produtos de alto valor agregado. Além da conversão de resíduos em energia, a gaseificação reduz significativamente a quantidade de rejeitos enviados para aterros sanitários e lixões, mitigando os impactos ambientais associados à disposição inadequada de resíduos, isto é, o processo também funciona como mecanismo para o tratamento de parte dos RSU. Portanto, este trabalho tem como objetivo simular um gaseificador de leito fluidizado, via Aspen Plus®, a fim de avaliar os efeitos da variação de temperatura e outros parâmetros operacionais sobre o processo de gaseificação em leito fluidizado, visando otimizar a produção de syngas a partir do potencial energético presente nas podas urbanas. Com a otimização obteve-se um desvio padrão para a concentração dos componentes de CO , CO_2 , CH_4 e H_2 de 1,6%, 2,9%, 1,4% e 4,8% respectivamente. Além disso, essa otimização contribuiu para uma maior eficiência na conversão de biomassa em syngas, o que levou à redução das emissões de CO_2 e à promoção de práticas sustentáveis na gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU).

Palavras-chave: gaseificação; syngas; conversão termoquímica.

Abstract

Municipal solid waste (MSW) is one of the main components of the waste generated in the northeastern region of Brazil. A significant portion of this waste is sent to inappropriate disposal sites, such as controlled landfills and dumps. In these places, there are great possibilities of soil and groundwater contamination, generation of toxic gases and greenhouse effect enhancers, both of which can culminate in serious damage to the environment. On the other hand, the growing demand for alternative and sustainable energy sources, to the detriment of exhaustible oil sources, calls for the development of clean and innovative technologies, which in turn involve exploiting the energy potential present in MSW. Prunings from this waste represent a valuable opportunity for generating renewable energy, given their organic composition, which contains a large amount of carbon that can be transformed into biofuels through thermochemical or biochemical processes. The most common

thermochemical processes include combustion, pyrolysis and gasification, with gasification emerging as a highly effective process that converts the biomass present in MSW into synthesis gas (syngas), which is a precursor to various biofuels and high value-added products. In addition to converting waste into energy, gasification significantly reduces the amount of waste sent to landfills and dumps, mitigating the environmental impacts associated with inadequate waste disposal, i.e., the process also works as a mechanism for treating part of the MSW. Therefore, this work aims to simulate a fluidized bed gasifier, with Aspen Plus®, in order to evaluate the effects of temperature variation and other operating parameters on the fluidized bed gasification process, with a view to optimizing the production of syngas from the energy potential present in urban prunings. The optimization resulted in a standard deviation for the concentration of the components CO , CO_2 , CH_4 and H_2 of 1,6%, 2,9%, 1,4% and 4,8% respectively. In addition, this optimization contributed to greater efficiency in the conversion of biomass into syngas, which led to a reduction in CO_2 emissions and the promotion of sustainable practices in the management of municipal solid waste (MSW).

Keywords: gasification; syngas; thermochemical conversion.

Introdução

As preocupações em relação ao esgotamento das reservas fósseis e a crescente demanda mundial por energia, meio ambiente e sustentabilidade, impulsionaram o uso de fontes de energia renováveis, sendo a biomassa considerada uma opção estratégica para minimizar a sobre-exploração das finitas reservas de combustíveis fósseis, bem como reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), a fim de mitigar o aquecimento global e as mudanças climáticas associadas (ALAVIJEH; KARIMI, 2019; VIEIRA et al., 2020; ANTAR et al., 2021).

A biomassa, por ser um material orgânico, não fóssil, de ocorrência natural que contém energia química intrínseca, possui alto potencial energético (ANTAR et al., 2021). Seu aproveitamento a partir dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) apresenta benefícios significativos, como por exemplo, o fato de ser uma energia renovável e pouco poluente. Os Resíduos de Poda Urbana (RPU) são classificados pela NBR 10.004/2004 como RSU. As principais tecnologias de tratamento termoquímico para aproveitamento energético da biomassa consistem em incineração/combustão, pirólise e gaseificação (SOARES et al., 2016).

A gaseificação apresenta-se como uma das rotas termoquímicas mais promissoras para transformar a energia intrínseca da biomassa em combustível e em outros tipos de energia, devido ao seu potencial para gaseificar uma ampla gama de matérias-primas e à alta versatilidade de geração de diferentes tipos de combustíveis. A gaseificação consiste em um processo de decomposição térmica da biomassa, cujo principal produto consiste em uma mistura de gases combustíveis rica, principalmente, em monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H_2), chamado de gás de síntese ou syngas. O gás de síntese consiste em um combustível rico e versátil, com grande capacidade de geração de eletricidade e calor em motores ou turbinas a gás. Também pode ser utilizado na geração de novos combustíveis líquidos e produtos químicos de alto valor agregado. Além disso, pode ser distribuído facilmente; sua combustão pode ser amplamente controlada a fim de se obter alta eficiência; pode ser queimado automaticamente; emitindo poluentes menos nocivos e não necessitando de grandes espaços para armazenagem (CAPUTO, 2009).

Dentre as tecnologias de gaseificação, o processo com reator de leito fluidizado surge como um dos sistemas com melhor eficiência operacional, devido à sua alta capacidade de mistura, alta taxa de transferência de calor e massa, em comparação a outros tipos de reatores. Esse tipo de gaseificador também possibilita alimentação de materiais de diferentes características e origens, permitindo o uso de reatores relativamente menores e com maiores capacidades (VAN DER MEIJDEN; VERINGA; RABOU, 2010).

Baseado na demanda por fontes alternativas de energia mais sustentáveis a partir do aproveitamento do grande volume de resíduos sólidos urbanos (RSU), este trabalho objetiva estudar a utilização de podas vegetais para geração de syngas através do processo termoquímico de gaseificação com reator de leito fluidizado. Nesse contexto, o estudo busca recuperar a energia dos resíduos de podas vegetais, transformando-os em gás de síntese capaz de gerar energia, calor, combustíveis e produtos químicos de alto valor energético. Dessa forma, almeja-se obter os parâmetros ideais para esse modelo de reator e tipo de biomassa, de modo a avaliar a qualidade do gás de síntese obtido e as condições da eficiência energética do sistema.

Metodologia

Na caracterização físico-química da biomassa de podas vegetais, foram adotadas as metodologias de: análise do teor de umidade, conforme norma ABNT NBR 14.929/2003 – Determinação do teor de umidade de cavacos - Método de secagem em estufa; Análise do teor de cinzas de acordo com a norma ABNT NBR 8.289/1987: Determinação mineral do teor de cinza; análise imediata segundo a norma ABNT NBR 8.112/1986: Carvão vegetal – Método de ensaio; composição elementar em conformidade com a norma ASTM D5373/2008: Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Laboratory Samples of Coal e ASTM D4208/2007: Standard Test Method for Total Chlorine in Coal by the Oxygen Bomb Combustion/ Ion Selective Eletrode Method; e análise do poder calorífico da biomassa de acordo com a norma ABNT NBR 8.633/1984: Determinação do poder calorífico- Método de ensaio pela bomba calorimétrica.

Tabela 1. Análise imediata da biomassa lignocelulósica.

Umidade (%)	Carbono Fixo (%)	Material Volátil (%)	Cinzas (%)
10	11,3	65	13,7

Tabela 2. Análise elementar da biomassa lignocelulósica. Pati, S (2020).

Carbono (%)	Nitrogênio (%)	Hidrogênio (%)	Oxigênio (%)	Poder Calorífico (MJ/kg)
38,8	0	5,7	39,2	15,76

Tabela 3. Parâmetros operacionais do reator de leito fluidizado.

Temperatura (°C)	Pressão (bar)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Velocidade de fluidização (m/s)	Diâmetro da partícula (µm)
700-900	1,05	40	1400	1,25	≤800

Para este modelo de gaseificação, as seguintes suposições são consideradas:

1. Fluxo de massa constante, ou seja, estado estacionário;
2. O resíduo “S2” que vai para a combustão contém ($C(s)$ e cinzas);
3. Os voláteis (S3) contêm todos os elementos básicos restantes;
4. Todos os reatores são isotérmicos;
5. O carvão contém apenas cinzas.

Tabela 4. Reação de combustão. (NIKOO; MAHINPEY, 2008)

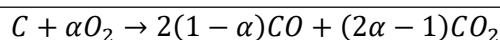
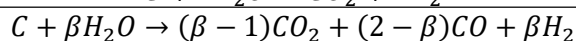
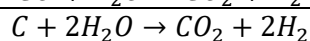
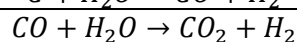
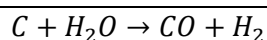


Tabela 5. Reações de gaseificação. (NIKOO; MAHINPEY, 2008)



(Rajan & Wen, 1980) definem o parâmetro α como um mecanismo que muda, na faixa de 0,5-1,0, quando CO ou CO_2 é transportado para longe da partícula de carvão durante a combustão. De acordo com (Matsui et al., 1985) β é a fração de vapor consumida pela reação. Para o modelo proposto neste trabalho, foi adotado um valor de 0,9 para α e 1,4 para β .

Os parâmetros cinéticos para as reações podem ser encontrados na Tabela 6.

Tabela 6. Parâmetros cinéticos. (NIKOO; MAHINPEY, 2008)

Tipo de reação	E/R (K)	$k(s^{-1}atm^{-1})$
Combustão	13.523	0,046
Gaseificação	19.544	6474,7

Na figura 1, é apresentado o fluxograma do processo de gaseificação com leito fluidizado.

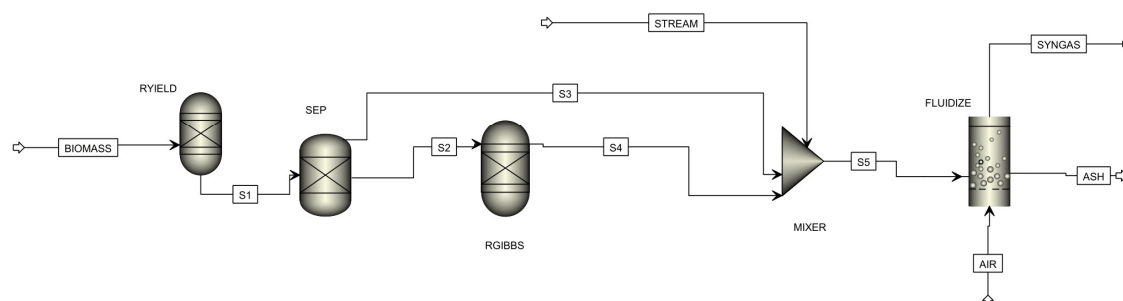


Figura 1. Fluxograma para simulação de gaseificação no Aspen Plus®.

A biomassa é inserida em um reator de rendimento RYIELD a uma vazão de 0,455kg/h, com o propósito de ser submetida a pirólise para decomposição em elementos convencionais conhecidos, a uma temperatura de 330°C. Posteriormente, um separador SEP é inserido para separar os produtos gasosos (S3) dos sólidos (S2). O produto S2 resultante é direcionado a um reator de Gibbs para equilíbrio simultâneo de fase e químico ao minimizar a energia livre de Gibbs. Em seguida, é adicionado um misturador MIXER com uma corrente de vapor STREAM a 145°C, além de reconectar as correntes S2 e S3. Em seguida, há o reator de leito fluidizado com uma faixa de temperatura de 700 a 900°C, gerando o syngas como produto final.

Na simulação, o syngas será avaliado baseado nos parâmetros: Concentração de H_2 (Hidrogênio), CO (Monóxido de carbono) e outros componentes.

Resultados e Discussão

Nesta seção apresentamos os resultados das concentrações dos componentes-chave, além da comparação com outros trabalhos disponíveis na literatura. A análise foi realizada para entender como os componentes se comportam no reator de leito fluidizado borbulhante.

Para os resultados mostrados, fixamos a injeção de vapor em 1,2kg/h e a alimentação de biomassa em 0,455kg/h:

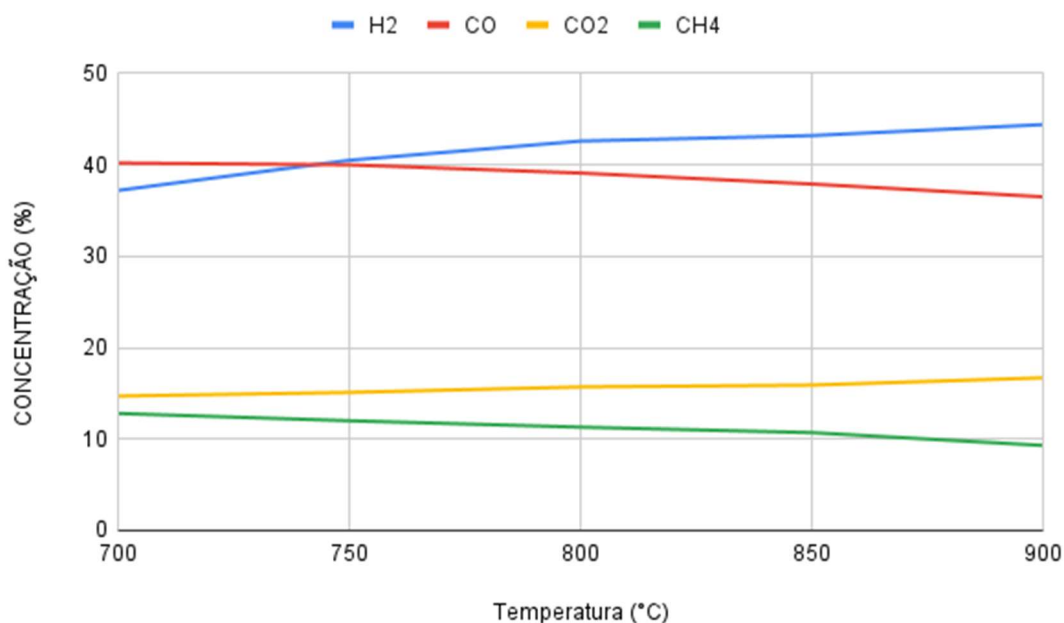


Figura 2. Gráfico de análise dos componentes-chave.

Ademais, foi realizada uma análise comparativa das concentrações dos componentes-chave deste trabalho com outros dois trabalhos, uma simulação e um trabalho experimental, apresentados por (NIKOO; MAHINPEY, 2008) e (LV et al., 2004) respectivamente, ambos com temperatura do reator de leito fluidizado a 750°C, conforme apresentado na Figura 3.

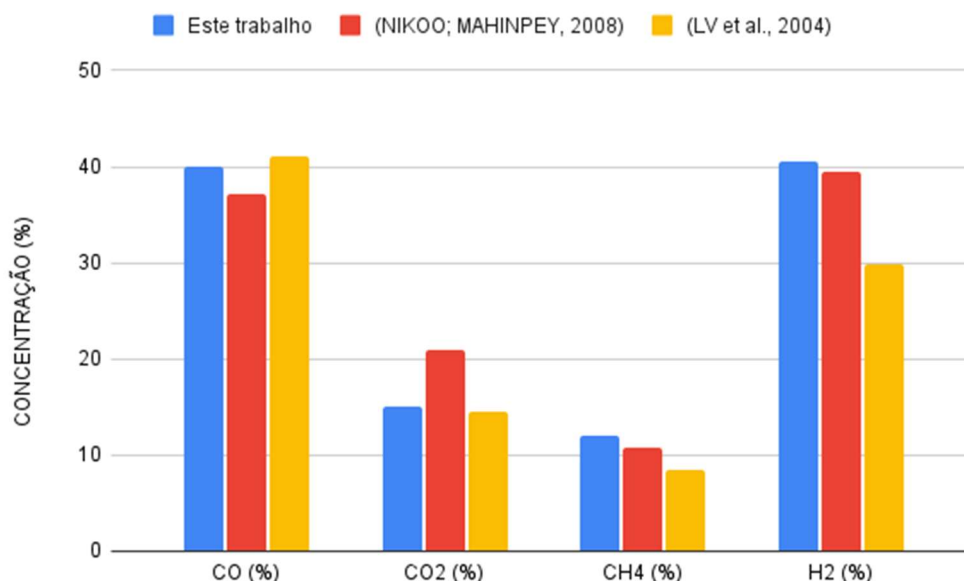


Figura 3. Análise comparativa de concentrações dos componentes.

Conclusões

A otimização dos parâmetros pode levar a melhorias significativas no desempenho geral do processo, resultando em uma produção mais eficiente de syngas e uma redução potencial dos custos operacionais. Este estudo fornece uma base sólida para futuras pesquisas e otimizações na área de gaseificação de biomassa proveniente de podas urbanas. Além disso, esses resultados podem ser utilizados para orientar práticas industriais e políticas relacionadas à geração de energia a partir de fontes renováveis.

A continuidade dessa pesquisa pode se concentrar em explorar outros parâmetros operacionais, como o da pressão ou o tamanho das partículas, para aprimorar ainda mais a eficiência do sistema de gaseificação e expandir sua aplicação em outras áreas de geração de energia sustentável.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do Programa de Formação de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, via PRH 48.1/UFPE (Processos ANP/FINEP N°48610.201019/2019-38 e FAPESP N°2024/10544-2), suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas qualificadas na Cláusula de P, D&I da Resolução ANP n° 50/2015.

Referências Bibliográficas

ABNT NBR 8.112/1986: Carvão vegetal – Método de ensaio.

ABNT NBR 8.289/1987: Determinação mineral do teor de cinza.

ABNT NBR 8.633/1984: Determinação do poder calorífico- Método de ensaio pela bomba calorimétrica.

ABNT NBR 14.929/2003: Determinação do teor de umidade de cavacos - Método de secagem em estufa.

ASTM D5373/2008: Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Laboratory Samples of Coal.

ASTM D4208/2007: Standard Test Method for Total Chlorine in Coal by the Oxygen Bomb Combustion/ Ion Selective Electrode Method.

ALAVIJEH, M.; KARIMI, K. Biobutanol production from corn stover in the US. *Industrial Crops and Products*, v. 129, 2018, p. 641–653, 2019.

ANTAR, M.; LYU, D.; NAZARI, M.; SHAH, A.; ZHOU, X.; SMITH, D. L. Biomass for a sustainable bioeconomy: An overview of world biomass production and utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.139, p. 110691, 2021.

CAPUTO, P. D. Utilização de syngas em substituição a combustíveis gasosos em processos siderúrgicos. Dissertação (Dissertação em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, 2009.

Lv PM, Xiong ZH, Chang J, Wu CZ, Chen Y, Zhu JX. An experimental study on biomass air–steam gasification in a fluidized bed. *Bioresource Technology* 2004;95:95–101.

Matsui I, Kunii D, Furusawa T. Study of fluidized bed steam gasification of char by thermogravimetrically obtained kinetics. *J Chem Eng Japan* 1985;18:105–13.

Rajan RR, Wen CY. A comprehensive model for fluidized bed coal combustors. *AIChE Journal* 1980;26:642–55.

SOARES, D.; PACIONI, T.R.; MOREIRA, R.F.P.M.; DOMENICO, M.D.; ROSA, M.F.P.; JOSÉ, H.J. Gaseificação De Serragem De Madeira Com Vapor De Água: Estudo Cinético. *Scientia Cum Industria*, v.4, n.2, p. 119-124, 2016.

VAN DER MEIJDEN, C. M.; VERINGA, H. J.; RABOU, L. P. L. M. The production of synthetic natural gas (SNG): A comparison of three wood gasification systems for energy balance and overall efficiency. *Biomass and Bioenergy*, v. 34, n. 3, p. 302–311, 2010.

VIEIRA, F.; LUNA, C.; ARCE, G.; ÁVILA, I. Optimization of slow pyrolysis process parameters using a fixed bed reactor for biochar yield from rice husk, *Biomass and Bioenergy*, v.132, p. 105412, 2020.