

Gaseificação de Plásticos Não Recicláveis

GASIFICATION OF NON-RECYCLED PLASTIC

Laryssa Silva Lima

Fábio Kenji Suguimoto

Marcos Antonio de Souza Lourenço

RESUMO

Esse estudo tem como objetivo apresentar análises de melhorias no processo de geração de energia através da gaseificação utilizando o sistema WTE (Waste To Energy) com intuito de explorar o potencial energético dos resíduos sólidos urbanos que são perdidos quando depositados em aterros sanitários. A gaseificação será utilizada para tratar de resíduos plásticos não recicláveis (NRP), a reação ocorre em baixas temperaturas e tem como resultado gás de síntese. Esse gás é o intermediário na geração de energia, como eletricidade, calor, combustíveis ou produtos químicos. A análise da gaseificação será realizada pelo equilíbrio químico por meio da energia livre de Gibbs e equações estequiométricas, para isso, será desenvolvido um algoritmo utilizando o software Python. Será avaliada a variação de parâmetros que influenciam na eficiência do syngas, como, temperatura, umidade, poder calorífico e quantidade de reagente. Por razões discutidas neste estudo, a gaseificação de materiais não reciclados é ambientalmente benéfica em comparação com o aterro, espera-se que melhore a eficiência do processo, aumentando assim o poder calorífico do gás de síntese, tornando-o mais rico desta forma trazendo mais qualidade ao syngas, gerando conseqüentemente um produto com maior potencial energético, tendo como vantagem que os plásticos em sua natureza possuem um alto poder calorífico.

Palavras-chave: gaseificação, plásticos não recicláveis, gás de síntese, equilíbrio químico

ABSTRACT

This study purpose to present analyses of improvements in the energy generation process through gasification using the WTE (Waste to Energy) system with the purpose of exploiting the energy potential of municipal solid waste that is lost when deposited in landfills. Gasification will be used to treat non-recycled plastics (NRP), where the reaction occurs at low temperatures and the result is the syngas. This gas is the intermediate in the power generation, such as electricity, heat, fuel or chemicals. The gasification analysis will be performed by the chemical equilibrium approach through Gibbs Free Energy and stoichiometric equations, for this, a program will be developed using the Python software. It will be evaluated as the variation of some parameters that influence the syngas efficiency, such as temperature, humidity, calorific power and reagent quantity. For reasons discussed in this study, gasification of non-recycled materials is environmentally beneficial compared to landfill it is expected to improve the efficiency of the process, thus increasing the calorific power of syngas, making it richer in this way bringing more quality to the synthesis gas, consequently generating a product with greater energy potential, having as an advantage that plastics in their nature already possess a high calorific power.

Keywords: gasification, non-recycled plastic, synthesis gas, chemical equilibrium

1 INTRODUÇÃO

A gaseificação é um processo de transformação do combustível sólido em combustível gasoso, que tem como produto intermediário o gás de síntese, CO (monóxido de carbono), H₂ (hidrogênio) CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (metano), N₂ (nitrogênio) e H₂O (água). Os gases provenientes da

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil Laryssa Silva Limalaryssa.2017@utfpr.edu.br

†Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil; Fábio Kenji Suguimoto
fksuguimoto@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil; Marcos Antonio de Souza Lourenço
mlourenco@utfpr.edu.br



gaseificação apresentam poder calorífico com grande potencial energético. A composição dos gases produzidos nos processos referentes a gaseificação é influenciada de forma geral pelos seguintes fatores: temperatura, pressão, umidade do combustível, teor de oxigênio no agente gaseificador e tipo de combustível (HIGMAN, et al., 2003). Outros fatores que podem influenciar a produção do syngas são: composição dos resíduos dispostos, umidade, tamanho das partículas, pH, idade dos resíduos, projeto do aterro e sua operação.

A gaseificação dos plásticos é um dos processos pertencentes a reciclagem química, processo em que ocorre a transformação de um material que não seria mais usado em um produto intermediário que possui um alto potencial energético, além disso, comparado aos outros processos de reciclagem é o mais vantajoso ambientalmente. Esse processo apresenta-se como alternativa para o tratamento do resíduo plástico que se acumula cada vez mais e é responsável por um dos principais problemas ambientais enfrentados pela humanidade: o acúmulo de resíduos plásticos.

De acordo com Piatti e Rodrigues (2005) e Brás (2011), as reações químicas que levam à formação dos plásticos são declaradas como polimerizações. A polimerização é uma transformação química em que moléculas pequenas, monômeros, associam-se para formar moléculas gigantes, denominadas macromoléculas.

Os Plásticos Não Recicláveis (NRP) são classificados como termorrígidos, tratam-se de produtos de polimerização em que ocorre formação de ligações cruzadas entre cadeias, tornando-se rígidos, fenômeno nomeado “cura”. Posterior a “cura”, tornam-se infusíveis, insolúveis e não recicláveis. Ex.: poliuretano, resina epóxi, baquelite (PIATTI e RODRIGUES, 2005). São exemplos de termorrígidos: o poliuretano (PU) e poliacetato de etileno vinil (EVA), poliéster, adesivos, pet colorido (exceção cores cristal, verde e marrom), além disso, plásticos que são na produção de peças de computador, peças de automóveis, aeronaves, pneus, entre outros.

Para desenvolver a modelagem matemática da gaseificação de biomassas em geral, são encontrados alguns tipos e abordagens, que Li (2002), os dividiu em dois grupos: cinético e de equilíbrio. Deste modo, este trabalho tem como objetivo apresentar a aplicação do modelo matemático, de equilíbrio, baseado no modelo de Zainal et al. (2001) que analisa o processo de gaseificação em altas temperaturas favorecendo a qualidade do gás de síntese obtido.

O conceito de equilíbrio químico de uma reação, considera que as espécies estão em um estado tal que não mudam a concentração ao longo do tempo. Assim, ao aplicar as equações que orientam os comportamentos de tal estado, o modelo de equilíbrio pode causar mudanças nas reações. (Carvalho et al, 2012).

A análise do modelo de equilíbrio utilizando a minimização do Energia de Gibbs será feita com auxílio do software Python com o intuito de desenvolver um modelo que seja capaz de ser aplicado em diferentes tipos e configurações de gaseificadores apresentando padrões de eficiência relevantes para o investimento no processo. Além disso, a escolha dessa linguagem de programação tem o intuito de facilitar a manipulação e compreensão das equações envolvidas no modelo de equilíbrio.

Dentro deste contexto e baseado nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU busca-se através desse estudo modernizar a tecnologia para melhorar a qualidade do gás de síntese e a



dessa forma oportunizar a produção de energia limpa e sustentável através da gaseificação do plástico que é um dos maiores problemas de acúmulo de RSU (resíduos sólidos urbanos) no mundo. Dessa forma, a pesquisa apresenta um destino eficiente para o plástico não reciclável que se acumula no meio ambiente e nos aterros ao redor do mundo, adotando-se de uma economia circular a fim de estimular o consumo e produção mais responsável.

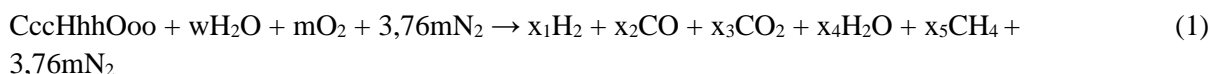
2. METOLOGIA

O modelo de equilíbrio considera que todas as reações estão em equilíbrio termodinâmico. Para a análise do método de equilíbrio resolve-se as equações por meio do Software Python com auxílio da biblioteca Numpy que possibilita a resolução de um sistema de equações lineares e não lineares por meio do método numérico. O conjunto de equações será resolvido pelo método dos mínimos quadrados possibilitando determinar um valor que se adeque ao conjunto de equações introduzidas.

Quando a biomassa sólida sofre decomposição térmica produz em sua fase gasosa geralmente H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , H_2O e outros hidrocarbonetos gasosos (C_xH_y). A composição do gás depende de fatores como o tipo do gaseificador e a temperatura de gaseificação. Para realizar a análise é selecionado o plástico PET ($C_{10}H_8O_4$), politereftalato de etileno, que é bastante comum no dia a dia e um dos resíduos a pequeno prazo mais descartados no meio ambiente. Para investigação do modelo de equilíbrio estabelece-se que os parâmetros iniciais analisados serão a variação da temperatura e da umidade da biomassa utilizada. Os valores de variação de temperatura vão de 1023,15 [K] a 1123,15 [K] para umidade considera-se que a biomassa está em base seca e será variada com as seguintes porcentagens: 0%, 10%, 15% e 20%.

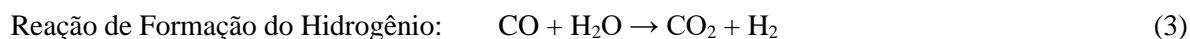
2.1 Equações

Para fins de comparação e concordância com a realidade temos que o tempo de residência é suficiente para ocorrer o equilíbrio químico, será desconsiderada a formação de alcatrão, o nitrogênio se comporta na reação como gás inerte e o carbono será totalmente consumido, além disso, as cinzas são inertes ao processo. Dessa maneira, a reação global da gaseificação pode ser escrita como:



onde cc, hh e oo representam o número de átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio, respectivamente. Onde w é quantidade de água por kmol de biomassa, m, a quantidade de oxigênio por kmol de biomassa, x_1 , x_2 , x_3 , x_4 e x_5 são os coeficientes que constituem os produtos. Note que, existem ao todo seis incógnitas, x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , x_5 e m.

Para analisar a gaseificação através do modelo de equilíbrio é necessário estudar algumas reações que resultam nos principais produtos da gaseificação: dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrogênio, metano e água, as reações são:





As constantes de equilíbrio têm como finalidade definir a razão entre os produtos e os reagentes de uma reação, ou seja, de acordo com determinados parâmetros, como por exemplo, temperatura ou a energia de formação, dessa forma modifica o equilíbrio da reação. Em seguida são apresentadas as duas constantes de equilíbrio:

$$\text{Constante de Equilíbrio de Formação do Metano: } K_1 = \frac{x_5}{x_{12}} \quad (4)$$

$$\text{Constante de Equilíbrio Reação do Hidrogênio: } K_2 = \frac{x_{13}}{x_{24}} \quad (5)$$

As reações apresentadas abaixo são resultado da simplificação de um sistema contendo seis equações podendo ser representado em um sistema de três equações sendo duas não lineares e uma linear. Dessa forma, obtém-se o seguinte sistema de equações que será resolvido usando o método dos mínimos quadrados, sendo esse um dos métodos mais indicados para resolver sistemas não lineares.

$$cc - x_2 - x_3 = x_1^2 K_1 \rightarrow x_1^2 K_1 + x_2 + x_3 - cc = 0 \text{ (equação não linear)} \quad (6)$$

$$- x_1 x_2 K_2 + 2x_2 x_3 K_2 + (w + \frac{HH}{2} - 2cc) x_2 K_2 - x_1 x_3 = 0 \text{ (equação não linear)} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & (d_{HH_2} - d_{HH_2O(g)} - 1,88d_{HN_2})x_1 + (d_{HCO} + 2d_{HH_2O(g)} - d_{HCH_4} + \\ & \frac{3,76x_3}{2}d_{HN_2})x_2 + (d_{HCO_2} + 2d_{HH_2O(g)} - d_{HCH_4} + 1,88x_4d_{HN_2})x_3 + (d_{HH_2O(g)} \\ & - d_{HH_2O(l)})w + (cc \times d_{HCH_4}) + (\frac{HH}{2} - 2cc) d_{HH_2O(g)} + 1,88(\frac{HH}{2} - 2cc - oo)d_{HN_2} \\ & - d_{H_{biomassa}} = 0 \text{ (equação linear)} \end{aligned} \quad (8)$$

As equações descritas acima são resultado simplificado da manipulação de equações com intuito de realizar a análise do modelo de equilíbrio da gaseificação do plástico PET. O modelo apenas permite a alteração da temperatura ou da porcentagem de umidade da amostra, não é possível alterar a pressão ou a quantidade de ar ambiente necessário. Com a variação desses fatores podemos obter o poder calorífico e quantidade de cada um dos gases provenientes da gaseificação, a partir disso realiza-se uma análise energética avaliando a eficiência do gás de síntese obtido. Adotando que quanto maior o poder calorífico do gás maior seu potencial de transformação. No caso da pressão, assume-se que a variação não é significativa para ser considerada, ou seja, considera-se que o processo ocorre a 1 atmosfera. No caso da quantidade de ar ambiente necessário, o modelo realiza através do balanço de massa e constantes de equilíbrio a dosagem correta desse composto.

3. RESULTADOS

Utilizando o software Python foi possível modelar as equações envolvidas no processo de gaseificação do plástico, a partir do método de mínimos quadrados que permite a resolução de equações não lineares foi possível determinar a quantidade dos principais gases gerados após simulação do processo de gaseificação. Como margem de comparação da composição foi comparado os resultados com a pesquisa realizada por Honus et al. (2018), devido a diferença dos modelos de análises abordados obtém-se algumas disparidades nas quantidades de gases obtidos.



Em seguida, são apresentados os resultados obtidos para todas as simulações realizadas, através da variação da temperatura, em K, e por umidade, aumentando esta última em cada simulação. A água produzida é removida pelo processo de condensação dessa maneira é totalmente consumida ao longo do processo, dessa forma não sendo considerada e não exercendo nenhuma influência no processo. Além disso, a quantidade de H₂ varia bastante em 75% dos processos devido ao aumento da temperatura devido a gaseificação em temperaturas mais altas ocasionar a divisão dos hidrocarbonetos existentes no gás de síntese.

Tabela 1. Quantidade dos gases que compõem o syngas a T = 1023 K

		X1	X2	X3	X4	X5
Temperatura	Umidade	H ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	CH ₄
1023.15K	0%	0	0,3495	2,3633	0	0,1909
	10%	0	0,0006	9,7514	0	0,0012
	15%	0	0,3333	6,4443	0	0,0282
	20%	0	1	10,6092	0	0,0564
Média dos ensaios realizados						
		0	0,4208	7,29205	0	0,069175

Fonte: autoria própria (2021).

Tabela 2. Quantidade dos gases que compõem o syngas a T = 1123 K

		x1 (%)	x2 (%)	x3 (%)	x4 (%)	x5 (%)
Temperatura	Umidade	H ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	CH ₄
1123K	0%	0	0.0006	9,7514	0	0,3333
	10%	0	0,2823	6,8024	0	0.1909
	15%	0	1,2474	10,567	0	1,003
	20%	0	0,3333	11,1506	0	0,0024
Média dos ensaios realizados						
		0	0,46575	9,56785	0	0,334675

Fonte: autoria própria (2021)

De acordo com a análise das tabelas acima, obteve-se um poder calorífico muito baixo indicando que a margem de erro existente no algoritmo prejudicou os resultados finais, dessa maneira torna-se necessário uma avaliação mais ampla das equações e dos resultados esperados, além disso, uma possível remodelação do modelo de equilíbrio aplicado além da variação da biomassa utilizada que tem grande interferência na composição do syngas.

4. CONCLUSÃO

Após a análise e obtenção das variáveis necessárias para simulação do processo de gaseificação no Python, o algoritmo elaborado retorna os valores da quantidade de cada gás pertencente ao processo, em seguida são realizadas análises para determinar a composição do gás de síntese obtido. As variações de temperatura e umidade permite compreender a influência das mesmas no processo. Levando em consideração que os plásticos não possuem valores tão significativos de umidade é possível compreender que as variações realizadas no modelo não possuem tanta influência na obtenção dos gases. O modelo proposto, utiliza-se apenas o plástico PET levando em consideração que o material esteja isento de outros resíduos, com isso é possível concluir que a capacidade energética alcançada foi muito baixa. Para fins de enriquecer e melhorar a pesquisa, propõe-se que a análise seja realizada para outros tipos de plásticos,



além disso, utilizar variações de temperaturas mais elevadas a fim de descobrir seu efeito na produção dos gases obtidos.

A gaseificação do plástico é uma alternativa relevante levando em consideração que o impacto ambiental comparado a incineração é reduzido, pois provoca a redução rápida de grandes quantidades de massa e volume de resíduos, elimina substâncias tóxicas, gera energia que pode ser transportada e sua combustão é realizada em ambiente com baixo teor de oxigênio. Além disso, a produção de plástico é um problema grave cada vez mais prejudicial aos ecossistemas e é uma preocupação mundial, assim levantar a proposta de gaseificação desses resíduos diminuirá a quantidade de plástico espalhado pelo meio ambiente, além de produzir energia limpa beneficiando em dobro o ecossistema.

Por fim, as análises realizadas levantam uma proposta extremamente importante e pouco explorada que deve ser aplicada e discutida com intuito de ganhar mais visibilidade para que assim seja desenvolvido um modelo de resolução que seja capaz de solucionar de forma mais assertiva o sistema de equações proposto e, conseqüentemente o processo de gaseificação. Dessa forma, é necessário produzir um trabalho mais aprofundado com o algoritmo que simula o processo de gaseificação, existindo a possibilidade de uma maior complexidade e capacidade de processamento dos dados.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meus professores orientadores Fábio Kenji Sugimoto e Marcos Antonio Souza Lourenço por toda dedicação, apoio e paciência, aos meus amigos e familiares pelo suporte e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela oportunidade.

REFERÊNCIAS

- [1] CARVALHO, TB, 2012. **Gaseificação Térmica de Resíduos Sólidos da Indústria de Azeite**. Tese de Mestrado, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Porto Alegre, 2012.
- [2] HIGMAN, C. e Van Der Burgt, M. **Gasification**. Oxford: Gulf Professional Publishing, 2003.
- [3] LI, X. **Biomass gasification in a circulating fluidized bed**. Tese de Doutorado– Department of Chemical and Biological Engineering. University of British Columbia, Vancouver, 2002.
- [4] ZAINAL Z.A; ALI R.; LEAN C.H.; Seetharamu K.N.; “**Prediction of performance of a downdraft gasifier using equilibrium modeling for different biomass materials**”, **Energy conversion and Management** 2001;42: 1499-1515.
- [5] PIATTI, T. M.; RODRIGUES, R. A. F. **Plásticos: Características, Usos, Produção e Impactos Ambientais**. Maceió/AL: EDUFAL, 2005. 51p. il. – (Conversando sobre ciências em Alagoas).
- [6] HONUS, S.; KUMAGAI, S.; FEDORKO, G.; MOLNÁR, V.; YOSHIOKA, T. **Pyrolysis Gases Produced from Individual and Mixed PE, PP, PS, PVC and PET – Part I: Production and Physical Properties**. *Fuel*, v. 221, p. 346-360, jun. 2018.