

## PRÉ-OPERAÇÃO DE UM GASEIFICADOR DE CARVÃO MINERAL EM REGIME DE FLUXO DE LEITO FLUIDIZADO

Josué Vieira da Rosa<sup>1</sup>  
Unipampa<sup>1</sup>

A operação de um gaseificador de carvão envolve diversos fenômenos de transferência simultânea de calor e massa, com reação química, tornando-se um processo complexo. A gaseificação consiste numa reação termoquímica envolvendo o combustível, oxigênio e vapor d'água em altas temperaturas e em regime de fluidização, com intuito de produzir gás de síntese ou *syngas*. O objetivo deste trabalho é a determinação das condições pré-operacionais para atingir o regime de fluidização borbulhante na temperatura entre 800 e 900 °C, favorável às reações de gaseificação. As variáveis estudadas foram as vazões de carvão, ar, vapor d'água e a granulometria. A faixa de vazão de carvão estudada foi de 3,9 a 5,6 kg/h, obtida com a instalação de um inversor de frequência de 3 a 10 Hz. A vazão de ar variou de 2,5 a 12 Nm<sup>3</sup>/h, medida por um rotâmetro instalado na linha de um compressor. A granulometria de carvão que possibilitou operar o gaseificador em regime de leito fluidizado borbulhante foi de aproximadamente 0,76 mm e o ponto de injeção de água favorável a fluidização foi junto com a entrada de ar no gaseificador. Nessas condições de operação foi alcançado o regime permanente na temperatura favorável às reações de gaseificação para obtenção de *syngas*.

Palavras-chave: Ar, Vapor d'água, Granulometria, *Syngas*.

### INTRODUÇÃO

O processo de gaseificação do carvão em leito fluidizado é complexo, envolvendo transferência simultânea de calor, massa e quantidade de movimento, concomitante com reações químicas.

O tipo de fluidização depende das características da fase particulada e fase fluida, da temperatura e da vazão de operação durante a fluidização (Cremasco, 2012). Devem ser considerados parâmetros como: massa específica do carvão ( $\rho_c$ ), porosidade do leito ( $\epsilon$ ), vazão de carvão ( $F_c$ ), vazão de ar ( $Q_a$ ), razão de equivalência (RE), diâmetro médio do carvão ( $d_p$ ). Além disso, é necessária a adição de água como agente de gaseificação, a fim de favorecer a formação de hidrogênio nas reações (Al-Zareer, 2016).

Embora o processo mais usual de conversão do carvão em energia seja a combustão, a gaseificação também pode ser usada para este fim, além de servir para a produção de produtos químicos e combustíveis a partir do carvão, constituindo a área da carboquímica (Tomaszewicz e Mianowski, 2017).

O Brasil está empenhado na redução de emissões de gases de efeito estufa, sendo a carboquímica uma forma mais limpa de uso do carvão que, reconhece-se, desempenha um papel relevante, devido às suas contribuições econômicas e energéticas, principalmente na Região Sul, onde se localiza 89% das reservas de carvão mineral do Brasil (PNE, 2020).

Segundo acordo firmado no encontro sobre o clima na Organização das Nações Unidas (ONU), em Nova York, o país está comprometido em reduzir para 48% as emissões de gases de efeito estufa até 2025 e para 53% até 2030 (Época Negócios, 2023).

Dentro desse contexto, é fundamental desenvolver novas tecnologias que garantam o uso sustentável desse mineral, sendo proposto nesse trabalho o processo de gaseificação controlado. Para esse propósito, essa pesquisa teve como objetivo determinar a razão de equivalência, o diâmetro médio de carvão, o ponto de injeção de vapor d'água, favoráveis para atingir o regime de leito fluidizado borbulhante no estado estacionário e na temperatura das reações de gaseificação.

## METODOLOGIA

A Figura 1 mostra o gaseificador semi-piloto existente no Laboratório de Energia e Carboquímica da Unipampa (LEC). A alimentação de carvão ocorre no gaseificador, acionada por meio de rosca de alimentação, com frequência controlada por inversor em painel externo. A alimentação de ar advém de um compressor com rotâmetro de vazão mínima e máxima de 2,5 e 25 Nm<sup>3</sup>/h, respectivamente, e o vapor d'água, de uma caldeira semi-industrial da marca Lanmax com pressão máxima de 4 kgf/cm<sup>2</sup>.



Figura 1. Foto frontal do gaseificador. (1) tambor de cinzas pesadas (2) tambor de cinzas leves (3) saída do alcatrão (4) saída para coleta de *syngas* (5) gaseificador de leito fluidizado

A entrada de ar e de vapor d'água ocorrem conjuntamente e em fluxo ascendente, por meio de bicos injetores de um distribuidor do tipo *Tuyère*.

Para garantir o bom funcionamento do equipamento e de suas partes componentes, desenvolveu-se um *checklist* de pré-operação, consistindo nas seguintes etapas: 1) verificação do sistema de alimentação de carvão. É acionada a rosca de alimentação, por meio de um inversor de frequência, variando de 1 a 3 Hz, e observada a variação da massa por unidade de tempo; 2) verificação de obstrução ao longo do gaseificador, ciclone e tubulações de saída para chaminé, realizada a partir do monitoramento do perfil de pressão a partir do software de supervisão *Field Chart* da empresa NOVUS. Para esta etapa, liga-se o compressor de ar em vazão máxima e, com o reator vazio, vai se abrindo para a atmosfera uma válvula por vez, ao longo do processo e analisando o perfil de pressão que é um indicativo da presença de obstrução no trecho do equipamento analisado; 3) o teste da centrífuga é realizado observando-se o aumento da diferença de pressão causada por ela. Caso não haja variação de pressão, indica-se obstrução na centrífuga; 4) teste de vazamento no leito de partículas. Para realizá-lo, monta-se e carrega-se o leito

com 3 L de areia de quartzo, submetido a uma vazão de ar de 5 Nm<sup>3</sup>/h e verificar visualmente vazamento de areia nas conexões do tambor que contém o leito.

A razão de equivalência (RE), foi determinada como a razão entre teor de carbono (C) presente no carvão e oxigênio (O<sub>2</sub>) do ar, considerando o método de Cougo et al. (2021), a composição do ar e a relação estequiométrica da reação de combustão do carvão.

Foram feitas duas análises granulométricas no carvão com diferentes diâmetros, de 0,22 mm e 0,76 mm usando a norma ASTM D4749-87.

A massa específica aparente, ou *bulk*, do carvão foi determinada por ensaio de proveta e a massa específica real por picnometria a gás, utilizando equipamento da marca Quantachrome Instruments, Ultra Foram 1000e, modelo UYP-30F e, subsequentemente, foi possível obter a porosidade do leito ( $\epsilon$ ).

Uma caldeira industrial forneceu vapor de água, injetado na entrada do leito, de forma intermitente, em intervalo de quatro minutos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para verificar o efeito da razão de equivalência foram realizadas análises do gás em duas razões de equivalência, com alimentação de carvão constante na frequência de 5 Hz. A primeira na vazão de ar de 7 Nm<sup>3</sup>/h, correspondente a uma RE de 0,38 e na temperatura de 850 °C, e a segunda na RE de 0,15, com vazão de ar de 2,5 Nm<sup>3</sup>/h e na temperatura de 835 °C. Os resultados mostraram que razões de equivalência menores favorecem a formação de hidrogênio, quase dobrando a sua produção, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Teor dos gases na composição do syngas

RE	H <sub>2</sub> %	O <sub>2</sub> %	CH <sub>4</sub> %	CO %	CO <sub>2</sub> %
<b>0,15</b>	28,74	4,40	12,36	4,85	49,65
<b>0,38</b>	14,51	9,81	11,59	5,59	58,50

Fonte: autores

Para a determinação da vazão de carvão, que interfere diretamente na *RE*, e, portanto, na composição do *syngas*, foi realizada uma curva de calibração, variando a frequência de um inversor e determinando a vazão de carvão correspondente. As vazões utilizadas variaram na faixa de 3 a 5 Hz, correspondendo, respectivamente, a 3,9 e 5,6 kg/h de carvão.

A análise granulométrica dos carvões pulverizado e granulado apresentou um diâmetro médio de Sauter  $d_p = 0,22$  mm e  $d_p = 0,76$  mm, respectivamente.

Para o carvão com  $d_p = 0,22$  mm, não foi possível realizar a gaseificação. Foi observado que o leito entrou em regime turbulento, com arraste pneumático de partículas de carvão, ocasionando a obstrução de válvulas e tubulações ao longo do gaseificador. Só foi possível operar o gaseificador em regime de leito fluidizado borbulhante para granulometria mínima de 0,76 mm. A velocidade mínima de fluidização ocorreu na vazão de ar de 4,5 Nm<sup>3</sup>/h, marcada pela uniformidade da temperatura do leito. Com relação a massa específica, foi encontrado valor de 1,5 g/cm<sup>3</sup>, estando abaixo de valores geralmente reportados para o carvão mineral de 1,7 - 1,9. Esse acontecimento se dá por conta do menor teor de minerais encontrados no mesmo. Os resultados da porosidade do leito para os dois diâmetros 0,22 mm e 0,76 mm, foram de iguais a 0,56 e 0,43, respectivamente.

A razão de equivalência de 0,15 e a adição de vapor d'água, injetada na entrada do leito juntamente com o ar, de forma intermitente, e em intervalo de quatro minutos, mostraram um *syngas* enriquecido em hidrogênio, o que é desejável em aplicações tais como na obtenção de fertilizantes como amônia ou de energia elétrica em turbinas a gás.

## CONCLUSÃO

Deverá ser realizado *checklist* antes de ligar o gaseificador de modo a evitar problemas operacionais. A granulometria mínima de carvão que possibilitou operar o gaseificador em regime de leito fluidizado borbulhante foi de aproximadamente 0,76 mm com ponto de injeção de água junto com a entrada

de ar e a razão de equivalência de 0,15 favoreceu a produção de hidrogênio e metano, gases de interesse para a carboquímica.

## AGRADECIMENTOS

À Carbonífera Cambuí, pela cedência do carvão mineral, matéria prima dessa pesquisa. À Universidade Federal do Pampa e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pela infraestrutura de laboratórios e financiamento de bolsas de estudo.

## REFERÊNCIAS

AL-ZAREER, M; DINCER, I; ROSEN, M. Effects of various gasification parameters and operating conditions on syngas and hydrogen production. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 115, p. 1-18, 2016.

ASTM – American Society for Testing Materials. **ASTM D 4749-87 – Standard Test Method for Performing the Sieve Analysis of Coal and Designating Coal Size**, Annual Book of ASTM Standards, 1987.

BRASIL, **Plano Nacional de Energia 2050**, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, 2020, Brasília.

COUGO, E. S; VAZ, F.A; RODRIGUES, R. et al. Estimativa de análise elementar a partir de análise imediata para o carvão mineral de Candiota - RS. In: **ANAIS DO VI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO MINERAL**, 2021, Porto Alegre. Anais eletrônicos. Campinas, Galoá, 2021.

CREMASCO, M.A. **Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos**. São Paulo: Blucher, 2012.

ÉPOCA, **Brasil confirma na ONU ampliação de meta de redução de emissão de gases do efeito estufa**. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/sustentabilidade/noticia/2023/09/brasil-confirma-na-onu-ampliacao-de-meta-de-reducao-de-emissao-de-gases-do-efeito-estufa.ghtml>>. Acesso em: 11 out. 2023.

TOMASZEWICZ, M.; MIANOWSKI, A. Char structure dependence on formation enthalpy of parent coal. **Fuel**, v. 199, p. 380-393, 2017.