

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INJEÇÃO DE VAPOR D'ÁGUA NA GASEIFICAÇÃO DO CARVÃO MINERAL

Rita Anselmo Martins Grzeca <sup>1</sup>

João Paulo Regliski Vieira <sup>2</sup>

Carlos Airton Lalim Fontoura Sabedra <sup>3</sup>

Ana Rosa Costa Muniz <sup>4</sup>

Marcilio Machado Moraes <sup>5</sup>

Mauricio Dalla Costa Rodrigues da Silva <sup>6</sup>

## Resumo:

O processo de gaseificação em leito fluidizado consiste na introdução de um fluxo gasoso na direção vertical e no sentido ascendente, forçando-o a atravessar um leito composto por material granular inerte, geralmente areia ou alumina. O material combustível a ser processado é incorporado ao leito aquecido, recebendo deste a energia necessária para a sua decomposição térmica durante o processo. Para este processo pode-se utilizar diferentes tipos de agentes gaseificantes ou misturas destes, normalmente ar (ou oxigênio puro) e vapor d'água (PELLEGRINO, 2006). O Laboratório de Energia e Carboquímica da Unipampa (LEC), campus Bagé-RS, realiza a gaseificação em uma planta piloto de leito fluidizado borbulhante, composto por um sistema de alimentação contínua de carvão mineral e ar, co-corrente, porém, sem injeção externa de água, somente usando a umidade proveniente do próprio carvão mineral. Os resultados obtidos em trabalhos anteriores, do Grupo de Pesquisa em Energia e Carboquímica da Unipampa (GPEC), apontam para a necessidade de injeção externa de vapor d'água para melhorar o rendimento em hidrogênio e metano (RIBEIRO, 2017). Nesse projeto são propostas duas rotas para alimentação de água: a primeira consiste na adição de água, em quantidade controlada, diretamente ao carvão presente no silo de alimentação e a segunda, propõe a introdução de uma tubulação externa de vapor d'água na região de freeboard do gaseificador, onde ocorrem as reações de gaseificação. O resultado esperado com esse projeto, é obter um sistema de injeção de vapor d'água que permita variar a razão molar C:H<sub>2</sub>O:O<sub>2</sub> na faixa entre 1:0,5-1:0,25-0,5. Esses valores foram escolhidos, aproveitando a experiência de países da África do Sul, Austrália, China, Espanha e Estados Unidos, detentores da tecnologia de gaseificação. Segundo Muniz (2013), que simulou a gaseificação do carvão mineral de Candiota, a razão molar da alimentação C:H<sub>2</sub>O:O<sub>2</sub> ,foi a variável de maior impacto na composição do syngas e por consequência na sua aplicabilidade.

**Palavras-chave:** Gaseificação; tecnologia; água; carvão

**Modalidade de Participação:** Iniciação Científica

## DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INJEÇÃO DE VAPOR D'ÁGUA NA GASEIFICAÇÃO DO CARVÃO MINERAL

<sup>1</sup> Aluno de graduação. ritttamartins@gmail.com. Autor principal

<sup>2</sup> Aluno de graduação. joaorv02@gmail.com. Co-autor

<sup>3</sup> Aluno de graduação. lalimsabedra@gmail.com. Co-autor

<sup>4</sup> Docente. ana.rc.muniz@gmail.com. Orientador

<sup>5</sup> Docente. marcilio.machadomoraes@gmail.com. Co-orientador

<sup>6</sup> Colaborador externo. eng.mauriciodallacosta@gmail.com. Co-orientador

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INJEÇÃO DE VAPOR D'ÁGUA NA GASEIFICAÇÃO DO CARVÃO MINERAL

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de gaseificação em leito fluidizado consiste na introdução de um fluxo gasoso na direção vertical e no sentido ascendente, forçando-o a atravessar um leito composto por material granular inerte, geralmente areia ou alumina. O material combustível a ser processado é incorporado ao leito aquecido, recebendo deste a energia necessária para a sua decomposição térmica durante o processo. Para este processo pode-se utilizar diferentes tipos de agentes gaseificantes ou misturas destes, normalmente ar (ou oxigênio puro) e vapor d'água (PELLEGRINO, 2006). O Laboratório de Energia e Carboquímica da Unipampa (LEC), *campus* Bagé-RS, realiza a gaseificação em uma planta piloto de leito fluidizado borbulhante, composto por um sistema de alimentação contínua de carvão mineral e ar, co-corrente, porém, sem injeção externa de água, somente usando a umidade proveniente do próprio carvão mineral.

Os resultados obtidos em trabalhos anteriores, do Grupo de Pesquisa em Energia e Carboquímica da Unipampa (GPEC), apontam para a necessidade de injeção externa de vapor d'água para melhorar o rendimento em hidrogênio e metano (RIBEIRO, 2017). Nesse projeto são propostas duas rotas para alimentação de água: a primeira consiste na adição de água, em quantidade controlada, diretamente ao carvão presente no silo de alimentação e a segunda, propõe a introdução de uma tubulação externa de vapor d'água na região de *freeboard* do gaseificador, onde ocorrem as reações de gaseificação. O resultado esperado com esse projeto, é obter um sistema de injeção de vapor d'água que permita variar a razão molar  $C:H_2O:O_2$  na faixa entre 1:0,5-1:0,25-0,5. Esses valores foram escolhidos, aproveitando a experiência de países da África do Sul, Austrália, China, Espanha e Estados Unidos, detentores da tecnologia de gaseificação. Segundo Muniz (2013), que simulou a gaseificação do carvão mineral de Candiota, a razão molar da alimentação  $C:H_2O:O_2$ , foi a variável de maior impacto na composição do *syngas* e por consequência na sua aplicabilidade.

## 2 METODOLOGIA

O projeto foi dividido em duas fases: na primeira etapa, foi adicionada água líquida diretamente no silo de alimentação de carvão e na segunda fase está sendo projetada uma tubulação externa para adição de água no gaseificador. O carvão mineral é originário da jazida de Candiota - RS, extraído do Banco Inferior e Banco Superior da malha 4. A água adicionada é proveniente do Departamento de Água e Esgoto de Bagé.

### 2.1 Adição direta de água

O carvão mineral é recebido no LEC, na forma britada e passa por processo de peneiramento, alimentando o silo de alimentação, com granulometria média de 4mm. Durante o período de 26/03/2018 a 04/05/2018, foi realizada a adição controlada de água, por aspersão, diretamente no silo de carvão e, coletadas amostras em três pontos distintos dentro do silo. Essas amostras eram submetidas a análise de umidade, em uma termobalança da marca Radwag, modelo Mac210.

Ao mesmo tempo, eram verificadas também a temperatura e umidade relativa do ar. Para cada adição de água, foi realizado procedimento de calibração da vazão de alimentação de carvão no gaseificador, mostrado na Figura 1.

Para tal, variou-se a frequência de giro do parafuso transportador de carvão, na faixa de 5 a 45 Hz e, para cada experimento, a massa de carvão foi medida com o tempo, para determinação da vazão. Com esses experimentos, objetivou-se verificar a reprodutibilidade da vazão com a adição de água.

Figura 1- Calibração da vazão de alimentação de carvão.



Fonte: Autores., 2018.

## 2.2 Método proposto para adição de água por tubulação externa

Para a determinação da área de troca térmica da tubulação de injeção de vapor d'água, deverá ser utilizado o balanço de energia dado pela Equação 1.

$$A = \frac{m C_p \Delta T}{U \Delta T_{ml}} \quad (1)$$

Onde:  $A$  é a área de troca térmica;  $m$  é a vazão mássica de vapor d'água dentro da tubulação,  $C_p$  é o calor específico da água;  $\Delta T$  é a diferença de temperatura entre a entrada e saída do tubo;  $U$  é o coeficiente global de transferência de calor e  $\Delta T_{ml}$  é a média logarítmica da diferença de temperatura.

Para o cálculo do coeficiente global de transferência de calor ( $U$ ), é proposto o cálculo mostrado na Equação 2, usando circuito térmico. São consideradas somente as resistências térmicas convectivas interna e externa, desprezando-se a condução, por considerar tubo de parede fina, e a radiação, devido a densa camada de refratário que reveste internamente o gaseificador.

$$U = \frac{1}{\sum \frac{1}{h}} \quad (2)$$

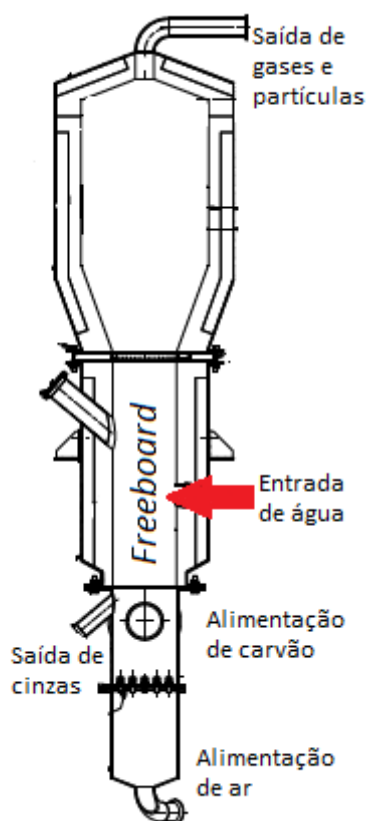
onde:  $h_i$  e  $h_e$  são os coeficientes convectivos de transferência de calor interno e externo, respectivamente.

Os valores de  $h_i$  e  $h_e$  serão determinados por meio de correlações para o número de Nusselt ( $NU$ ).

Considerando que a forma funcional de  $NU$ , depende somente do número de Reynolds ( $Re$ ) e de Prandtl ( $Pr$ ), a sua determinação será dependente somente da vazão ou velocidade dos fluidos interno e externo e das propriedades dos mesmos. A água será alimentada por meio de bomba peristáltica, cuja vazão varia de 10 a 118 mL/min e o ar através de um compressor na faixa de 5 a 20 Nm<sup>3</sup>/h. As propriedades da água e do vapor d'água serão baseadas em Perry (1997) e para o *syngas*, serão utilizadas as propriedades do ar, conforme Incropera (2016).

A Figura 2, ilustra o gaseificador do LEC e mostra a localização do ponto de adição d'água, que será na região de *freeboard*, onde ocorrem as principais reações de gaseificação.

Figura 2- Representação esquemática do gaseificador do LEC



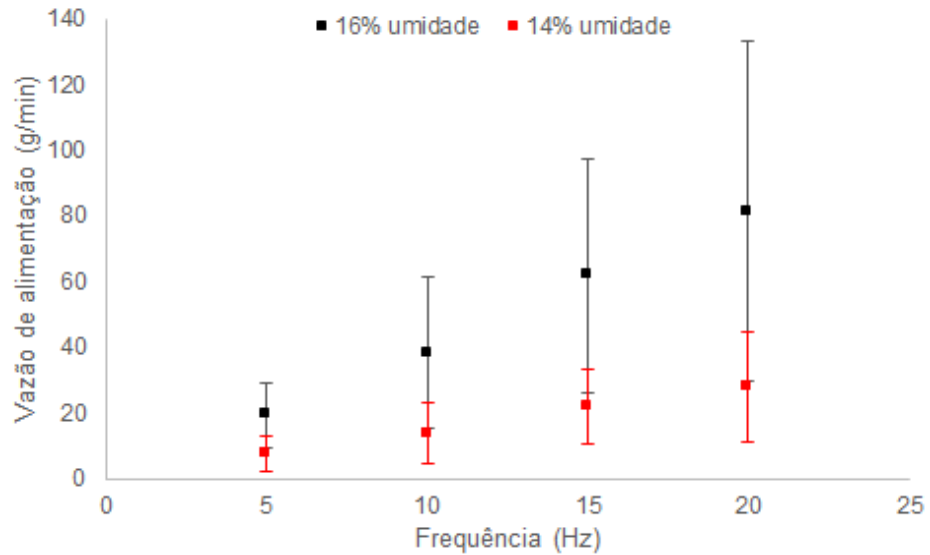
Fonte: Adaptado de Bioware, 2018.

O resultado da equação 1 deverá ser comparado com aquele obtido pelo simulador de processos DWSIM, antes da execução da montagem da tubulação.

### 3 RESULTADOS e DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra resultados da curva de calibração da vazão de alimentação de carvão, variando a frequência e a umidade do carvão.

Figura 3- Curva de calibração da vazão de alimentação



Fica evidenciado na Figura 3, que a vazão de carvão não tem reprodutibilidade para a mesma frequência de rotação da rosca alimentadora. Esse efeito deve-se a aglomeração das partículas de carvão, que é muito higroscópico, devido a adição de água. A lama formada aderiu na superfície da rosca de transporte, com conseqüente redução da vazão de carvão. Esse efeito foi incrementado com o aumento no teor de umidade no carvão de 14 para 16%. A vazão decai em função do aumento da densidade da mistura água e carvão, dificultando o escoamento.

Esses resultados parciais foram importantes para mostrar que será necessário implementar a segunda etapa do projeto, usando a metodologia apresentada no item 2.2.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adição de vapor d'água como agente gaseificante é necessária para a obtenção de *syngas* rico em hidrogênio e metano. A proposta de adição direta de água ao silo de alimentação de carvão não se mostrou eficiente, devido ao caráter higroscópico do carvão, que levou a aglomeração na rosca transportadora, não mostrando reprodutibilidade na vazão de carvão. Será necessário adicionar uma tubulação de água a ser injetada na região de *freeboard* do gaseificador e, cuja área de troca térmica será calculada por meio de balanços de massa, energia, cálculo de propriedades dos fluidos e uso de correlações para estimativa dos coeficientes de transferência de calor.

#### REFERÊNCIAS

INCROPERA, FRANK P. et al. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: 2016. 277- 451p.

MUNIZ, A. R. C., METH, S. e MELLO, J. H. Gaseificação do carvão de candiota-RS em leito de arraste. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO MINERAL, 2013, Gramado.

PERRY, ROBERT H. et al. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 7. ed. 1997.

PELLEGRINO, R. **Gaseificação de carvão mineral com adição de vapor e remoção de H<sub>2</sub>S, em leito fluidizado**. 2006. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

RIBEIRO, R. B. **Hidropirólise do carvão mineral da jazida de Candiota-RS**. 2017. 42f. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2017.