

11 a 13 de Novembro | Pato Branco - PR



https://eventos.utfpr.edu.br//sicite/sicite2019

Estudo experimental do trocador de calor de jaqueta em leito fluidizado

Experimental study of a jacket heat exchanger in fluidized bed

RESUMO

Eric Keen Torigoe erictorigoe@hotmail.com Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Maria Regina Parise parise@utfpr.edu.br Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

jhon@utfpr.edu.br Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Jhon J. Ramirez Behainne

Esse trabalho tem como objetivo determinar experimentalmente o coeficiente de transferência de calor suspensão-parede de um trocador de calor do tipo jaqueta em leito fluidizado com partículas de esfera de vidro. Além disso, também foi empregado a metodologia da Frequência Central Gaussiana para identificar a região de fluidização do leito. Para a realização dos experimentos variou-se o diâmetro médio das partículas sólidas de esferas de vidro, a vazão mássica de água no trocador de calor e a velocidade superficial do gás no leito, obtendo assim o coeficiente de transferência de calor suspensão-parede para cada condição experimental. Esses resultados mostraram que os coeficientes de transferência de calor suspensão-parede máximos foram obtidos para uma relação de uo/umf de aproximadamente 3,0.

PALAVRAS-CHAVE: Trocador de calor do tipo jaqueta. Coeficiente de Transferência de calor Suspensão - Parede. Leito fluidizado gás-sólido.

Recebido: 19 ago. 2019. **Aprovado:** 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

The main objective of this work is experimentally to determine the heat transfer coefficient of a heat exchanger jacket in fluidized bed with particles of glass spheres. In addition, the Gaussian Central Frequency Method was used to identify the fluidized bed region. To execute the experiments varied: the Sauter mean diameter of the solid particles of glass spheres, the mass flow rate of water in the jacket heat exchanger and the superficial gas velocity, so the suspension-wall heat transfer coefficient was obtained in each experimental condition. These results showed that the maximum heat transfer coefficient was obtained with an aspect ratio of u_0/u_{mf} approximately of 3.0.

KEYWORDS: Jacket Heat Exchanger. Suspension-Wall Heat Transfer Coefficient. Gas-solid Fluidized Bed.



11 a 13 de Novembro | Pato Branco - PR



INTRODUÇÃO

A recuperação de calor por meio de sistemas gás-sólido envolvendo leito fluidizado é de suma importância, em vista que esse método proporciona um eficiente transporte de energia térmica proveniente das finas partículas aquecidas para o fluido circundante (KUNII e LEVENSPIEL, 1991). Implementado como uma das formas de reaproveitamento da energia térmica, a utilização dos recuperadores de calor nas indústrias representa um reaproveitamento da energia inicialmente descartada de diversos processos e, consequentemente, um benefício para todo o sistema.

Se tratando mais especificamente de trocadores de calor do tipo gás-sólido, segundo Basu (2006), existem várias aplicações industriais para esse tipo de equipamento, sendo estas: conversão de energia, processamento petroquímico, processamento mineral, indústrias químicas e farmacêuticas. Apresentando uma série de vantagens quando utilizado, sistemas envolvendo leito fluidizado borbulhante têm sido aplicados com sucesso em grandes caldeiras e gaseificadores para a conversão de carvão mineral e biomassas (TURINI, 2017).

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no laboratório de sistemas gás-sólido da UTFPR-PG. O sistema experimental (Figura 1) é composto por uma coluna de fluidização com altura de 1 m e diâmetro interno de 0,008 m. O trocador de calor do tipo jaqueta, construído de aço inoxidável AISI 304, possui diâmetro hidráulico equivalente a 0,008 m em sua região anular e o seu comprimento axial disponível para a troca térmica é de 0,100 m (TURINI, 2017).

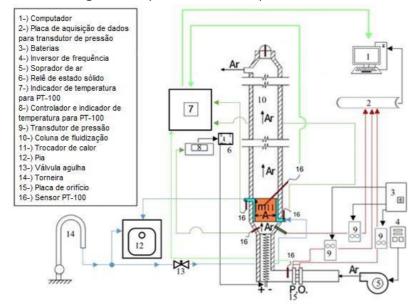


Figura 1 – Esquema do sistema experimental

Fonte: adaptado de Turini (2017, p.65)

O leito foi composto por esferas de vidro, com diâmetro médio de 181 μ m e 363 μ m, e densidade aparente de 2460 \pm 6 kg/m³.



11 a 13 de Novembro | Pato Branco - PR



Utilizou-se o método da Distribuição Gaussiana para a identificação da região de fluidização do leito através do monitoramento das flutuações de pressão. Assim como descrito por Parise (2007) e citado por Turini (2017), a queda abrupta no valor da frequência central gaussiana identifica a região de transição entre o regime de leito fixo e leito fluidizado.

Para a realização dos cálculos do coeficiente de transferência de calor suspensão-parede, inicialmente calculou-se a taxa de transferência de calor do trocador de calor (Q), através da expressão:

$$Q = \dot{m}_{\acute{a}gua} c_{p,\acute{a}gua} \left(T_{sa\acute{a}da,\acute{a}gua} - T_{entrada,\acute{a}gua} \right) \tag{1}$$

sendo $\dot{m}_{\acute{a}gua}$ a vazão mássica de água, o $c_{p,\acute{a}gua}$ é o calor específico da água, $T_{sa\acute{a}da,\acute{a}gua}$ e $T_{entrada,\acute{a}gua}$ é a temperatura da água na saída e na entrada do trocador de calor, respectivamente.

Após isso, é calculada a média-logarítmica das diferenças de temperatura (*LMTD*):

$$LMTD = \frac{(T_{Leito-T_{Saida,\acute{a}gua})-(T_{Leito-T_{entrada,\acute{a}gua})}}{\ln \frac{(T_{Leito-T_{Saida,\acute{a}gua})}}{(T_{Leito-T_{entrada,\acute{a}gua})}}}$$
(2)

sendo T_{Leito} a temperatura do leito.

E, como resultado, calcula-se o coeficiente de transferência de calor suspensãoparede por meio da seguinte expressão:

$$h_{sp} = \frac{1}{\frac{2\pi r_1 H_{Jaqueta}}{UA} + \frac{r_1 \ln{(\frac{r_1}{r_2})}}{k_{aco}} - \frac{r_1}{r_2 h_{convectivo,\acute{a}qua}}}$$
(3)

sendo $H_{Jaqueta}$ é a altura do trocador de calor, r_1 o raio interno do leito fluidizado, r_2 o raio menor interno da jaqueta d'água, $k_{aço}$ a condutividade térmica do material da jaqueta e $h_{convectivo,\acute{a}gua}$ o coeficiente de transferência de calor convectivo da água.

Assumiu-se também duas diferentes condições de contorno térmicos para o calculo do coeficiente convectivo de transferência de calor da água. Essas suposições seriam:

- a) Primeiro tipo: assume que o fluxo de calor é uniforme em uma parede e a outra parede é isolada termicamente;
- b) Segundo tipo: assume que a temperatura de uma parede é uniforme e a outra parede é isolada termicamente.

Para a obtenção do coeficiente de transferência de calor suspensão-parede, foram realizados experimentos em duplicata. Em cada ensaio utilizou-se aproximadamente 0,8 kg de esferas de vidro no leito. As condições experimentais utilizadas no presente trabalho encontram-se no Quadro 1.



11 a 13 de Novembro | Pato Branco - PR



Quadro 1 – Condições experimentais dos ensaios

Teste	$\overline{d}_p[\mu m]$	T _{Leito} [°C]	ṁ _{água} [kg/h]	u _o /u _{mf}
1	181	50	1,81	1,0-1,5-2,0-2,5-3,0-3,5-4,0
2	181	50	4,52	1,0-1,5-2,0-2,5-3,0-3,5-4,0
3	363	50	1,81	1,0-1,5-2,0-2,5-3,0-3,5-4,0
4	363	50	4,52	1,0-1,5-2,0-2,5-3,0-3,5-4,0

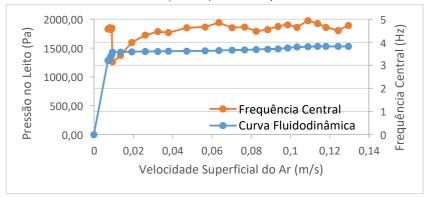
Fonte: Autoria própria (2019)

sendo u_o/u_{mf} a razão entre a velocidade superficial do gás sobre a velocidade de mínima fluidização.

RESULTADO E DISCUSSÃO

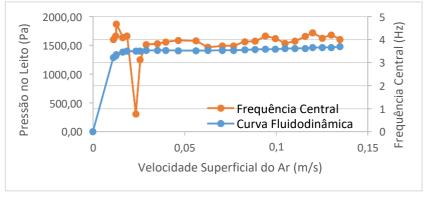
Nas Figuras 2 e 3 é possível verificar o comportamento das partículas quando expostas tanto a condições de leito fixo quanto de leito fluidizado borbulhante. Assumindo respectivamente um comportamento gráfico linear crescente e uma função constante de pressão, no mesmo gráfico também foi inserido os resultados da análise da Frequência Central Gaussiana para identificar a transição entre essas duas regiões fluidodinâmicas. Ilustrado como uma queda abrupta de seu valor no ponto de defluidização, os seus resultados condizem com o observado graficamente na variação de pressão e a passagem superficial do ar no leito de partículas.

Figura 2 – Curva fluidodinâmica da esfera de vidro e frequência central gaussiana para esfera de vidro de \overline{d}_p = 181 μm e a temperatura de 50°C



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 3 – Curva fluidodinâmica da esfera de vidro e frequência central gaussiana para esfera de vidro de \overline{d}_p = 363 μ m e a temperatura ambiente (17,5°C)



Fonte: Autoria própria (2019)

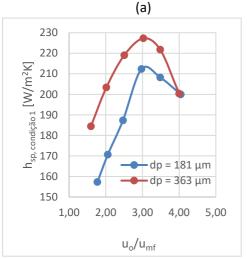


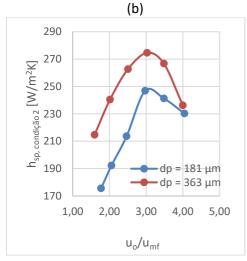
11 a 13 de Novembro | Pato Branco - PR

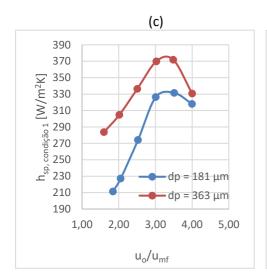


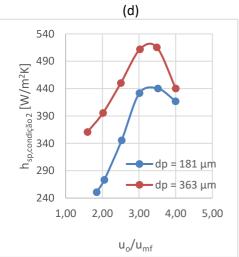
Por meio da Figura 4 pode-se comparar a variação do coeficiente de transferência de calor suspensão-parede mediante as diferentes aproximações nas condições de contorno utilizadas para a realização dos cálculos. Foram obtidos valores de maior proporção quando se assume a uniformidade de temperatura em toda a extensão de uma das paredes do trocador de calor (condição 2).

Figura 4 – Comparativo dos coeficientes convectivos de transferência de calor obtido nos ensaios experimentais sob mesma vazão mássica de água (a) e (b) $\dot{m}_{\rm água} \cong 1.81~{\rm kg/h}$ (c) e (d) $\dot{m}_{\rm água} \cong 4.52{\rm kg/h}$.









Fonte: Autoria própria (2019)

Durante a realização de todos os experimentos, assim como planejado no cronograma previsto, houve certa dificuldade em manter a temperatura do leito desejada para uma relação de $u_{\text{o}}/u_{\text{mf}}$ inferior a 1,5. Sendo uma região fluidodinâmica o qual há o início do desaparecimento das bolhas de gás e a retração do leito expandido, utilizou-se vazões mássicas de água menores para tentar contornar tal problema, mas os resultados não foram bem-sucedidos. Também foram realizados experimentos teste para a temperatura do leito igual a 70°C, mas também resultou na mesma problemática mencionada anteriormente.



11 a 13 de Novembro | Pato Branco - PR



CONCLUSÃO

Por meio do estudo do comportamento das esferas de vidro no leito fluidizado tivemos que partículas de \overline{d}_p = 363 μm apresentaram uma velocidade de mínima fluidização 1,96 vezes maior do que as de \overline{d}_p = 181 μm . Com o aumento da temperatura no sistema pôde observar que existe uma maior facilidade em fluidizar o leito com a menor passagem de ar. Além disso, o método da Frequência Central Gaussiana se demonstrou efetivo no estudo realizado, uma vez que por meio dele foi possível identificar a transição do leito fluidizado para leito fixo.

Em relação aos experimentos no trocador de calor, foram obtidos coeficiente de transferência de calor máximo para $u_o/u_{mf}\cong 3,0$. Assumindo considerável diferença de resultado nas duas diferentes condições de contorno utilizadas nos cálculos, foi possível observar que a utilização das partículas de maior diâmetro (\overline{d}_p = 363 μ m) resultou em valores convectivos suspensão-parede maiores quando comparados as esferas de vidro de menor diâmetro (\overline{d}_p = 181 μ m). É possível mencionar também a influência da vazão mássica de água sobre o sistema analisado, o qual por meio de uma maior passagem desse fluido no trocador de calor pudemos obter valores convectivos também mais elevados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

TURINI, B. A. F.. Avaliação experimental do coeficiente de transferência de calor suspensão-parede em regime de leito fluidizado borbulhante monitorado pelo método da frequência central gaussiana. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

KUNII, D. LEVENSPIEL, O.. **Fluidization Engineering**. 2. ed. Boston, London, Singapore, Sydney, Toronto, Wellington: Butterworth-Heinemann. 1923.

PARISE, M. R.. **Aplicação da distribuição espectral normal em leito fluidizado gás-sólido**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Química) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BASU, P.. Combustion and Gasification in Fluidized Beds. USA, Taylor & Francis, 2006.