



## Efeito da configuração da aeração de uma válvula loop seal no perfil de pressão axial a frio de uma fornalha piloto de leito fluidizado circulante

### Effect of the aeration setup of a loop seal valve on the axial pressure profile of a small CFB furnace tested at room conditions

Amauri Pinheiro Garcia Junior<sup>1</sup>, Paulo Cesar Zadra Filho<sup>2</sup>, Flavio Augusto Hilgemberg<sup>3</sup>, Jhon Jairo Ramirez Behainne<sup>4</sup>

#### RESUMO

Fornalhas de leito fluidizado circulante empregam válvulas loop seal para promover a recirculação das partículas de combustível na intensidade adequada. Estudos da literatura mostram que a eficiência operacional dessa válvula depende da forma da aeração dela, podendo ser concentrada num ponto ou distribuída em vários locais de injeção. Neste estudo, uma válvula loop seal foi operada com três diferentes configurações e vazões de aeração, a fim de conhecer os efeitos produzidos sobre o perfil axial de pressão de uma fornalha piloto de leito fluidizado circulante (LFC) funcionando em condições ambientais. Experimentos foram conduzidos com leito de inventário e tamanho médio de partícula fixos, para duas velocidades de fluidização, aplicadas diretamente no riser, e duas vazões volumétricas de aeração, distribuídas na válvula loop seal. Os resultados indicaram que todas as configurações de aeração testadas foram apropriadas para manter a operação da fornalha. No entanto, com a vazão total da aeração distribuída em um local (plenum), ou em dois locais (plenum e standpipe), fornece-se maior estabilidade frente às diferentes condições de funcionamento do equipamento de LFC.

**PALAVRAS-CHAVE:** aeração; leito fluidizado circulante; válvula de sólidos.

#### ABSTRACT

Circulating fluidized bed furnaces employ loop seal valves to promote the recirculation of fuel particles at the appropriate intensity. Previous works show that the operational efficiency of a loop seal depends on how aeration is applied, which can be concentrated in one injection point or distributed over several ones. In this study, a loop seal valve was operated with three different configurations of aeration to determine the effects produced on the axial pressure profile of a circulating fluidized bed (CFB) furnace tested at room conditions. Experiments were conducted by fixing both the bed inventory and the average particle size, while using two fluidizing velocities directly applied to the riser, and two aeration flow rates distributed in the loop seal valve. Results indicated that all tested aeration configurations were appropriate for keeping the furnace operation. However, by comparing among aeration configurations, it was observed that the aeration configurations using either one injection point (plenum), or two injection points (plenum and standpipe), provided better stability of the CFB system under different operating conditions.

**KEYWORDS:** aeration; circulating fluidized bed; loop seal valve.

## INTRODUÇÃO

As caldeiras de leito fluidizado circulante (LFC) representam equipamentos modernos de geração de vapor para o fornecimento de calor e eletricidade no setor industrial. Fornalhas acopladas a estas caldeiras usam o regime de fluidização rápida, ou

<sup>1</sup> Voluntário. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: amauripinheiro@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 6847186144328691.

<sup>2</sup> Bolsista. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: paulo.010998@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 7449674046734737.

<sup>3</sup> Aluno colaborador. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: flaviohilgemberg@hotmail.com. ID Lattes: 8205569445942171.

<sup>4</sup> Docente no Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: jhon@utfpr.edu.br. ID Lattes: 7698157175001504.



de transporte parcial de partículas, para queimar um combustível de baixa qualidade com alta eficiência de conversão e reduzida emissão de poluentes (BASU; BUTLER, 2009). Para a sua operação adequada, elas precisam do controle eficiente do fluxo da recirculação dos sólidos, a fim de promover altas taxas de transferência de calor e de massa. Tal controle é feito mediante o uso de válvulas de acionamento pneumático, conhecidas como loop seal (BASU; CHENG, 2000).

De acordo com Oliveira (2019), o comportamento do perfil axial de pressão estática num sistema de LFC pode ser influenciado pela forma como é realizada a aeração da loop seal através da sua câmara plenum, proporcionando, por exemplo, diferenças entre os modos de aeração monocâmara e bicâmara. Adicionalmente, conforme estabelecido por Chinsuwan e Somjun (2020), dependendo das condições operacionais do sistema de LFC, a utilização de múltiplos pontos de aeração pode fornecer um maior controle sobre o movimento das partículas, influenciando diretamente na estabilidade e na uniformidade do processo de fluidização, além de evitar aglomerações indesejadas.

A fim de contribuir para uma melhor compreensão do comportamento operacional de fornalhas de LFC construídas em pequena escala, este estudo experimental examina a resposta do perfil de pressão estática a frio de um equipamento de LFC de laboratório, ao submeter a sua válvula loop seal a três distintas configurações de aeração sob variações na velocidade de fluidização no riser e na vazão do ar injetado na loop seal.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **PROPRIEDADES DA PARTÍCULA**

Os experimentos de fluidização foram realizados usando um lote de aproximadamente 20 kg de areia quartzosa comercial, cujo tamanho de partícula foi previamente escolhido na faixa de 150 a 300  $\mu\text{m}$ . Duas amostras aleatórias da areia preparada foram submetidas a uma análise granulométrica utilizando malhas da série Tyler, montadas sobre agitador eletromagnético. O valor do diâmetro médio de Sauter obtido foi de 200 $\mu\text{m}$ .

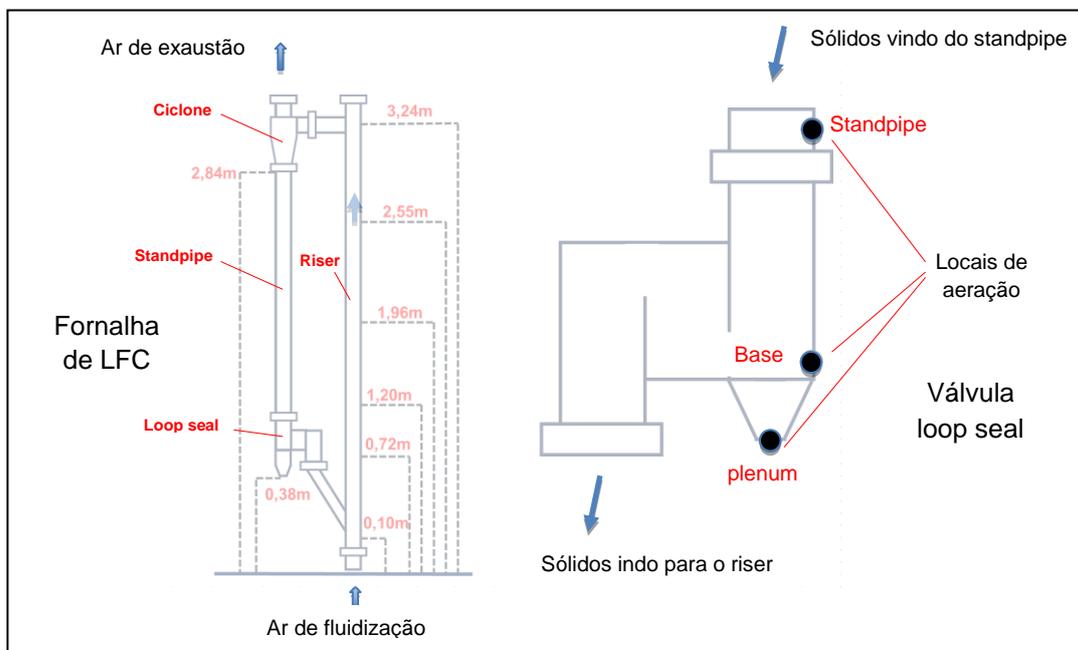
A densidade da partícula, para o mesmo lote de areia, tinha sido previamente medida por Pecete (2023), indicando o valor de 2652  $\text{kg/m}^3$ . Em posse dos valores do diâmetro médio e da densidade da partícula, foi encontrado que a partícula pertence ao grupo B de Geldart, sendo assim adequada para a sua utilização em fornalhas de LFC. Adicionalmente, as velocidades de mínima fluidização e de transporte da partícula foram 0,042m/s e 2,71m/s, respectivamente, determinadas conforme Basu (2006).

### **SISTEMA EXPERIMENTAL**

Os experimentos foram realizados na fornalha piloto de LFC do Laboratório de Processos Termoquímicos da UTFPR/Campus Ponta Grossa. Um esquema da fornalha

com os locais das medidas de pressão estática, bem como da loop seal com as posições de aeração estudadas, ilustra-se na Figura 1.

Figura 1 – Esquema da fornalha de LFC e da sua loop seal com os pontos de aeração



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

## PLANEJAMENTO DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram realizados com inventário de sólidos fixo de 1,6 kg, seguindo as combinações dos parâmetros operacionais estabelecidos na Tabela 1. No total, foram realizados doze testes, variando a velocidade de fluidização ( $U_f$ ) e a vazão total da aeração ( $A$ ) para três configurações de aeração (I, II e III) aplicadas na loop seal.

Tabela 1 – Planejamento dos testes experimentais

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
$U_f$ (m/s)	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
$A$ (L/min)	15	15	15	20	20	20	15	15	15	20	20	20
Configuração	I	II	III									

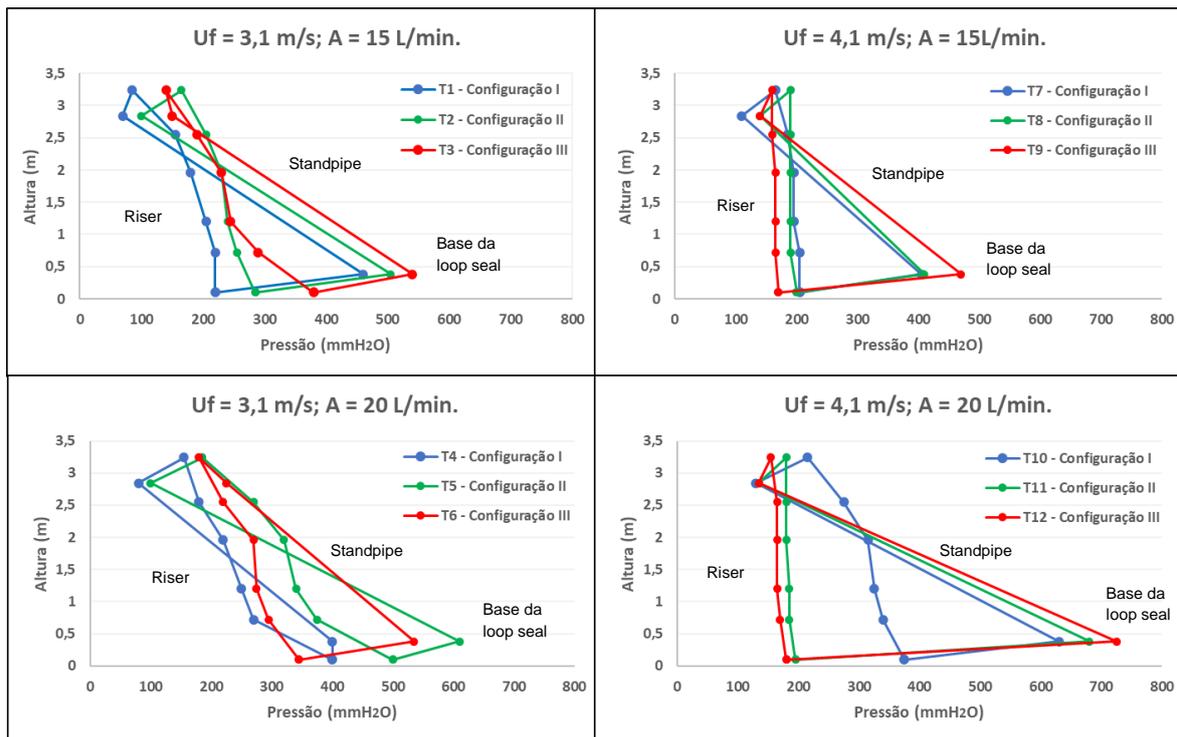
Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Na Tabela 1, a Configuração I refere-se à aeração total aplicada exclusivamente no ponto identificado como plenum (ver Figura 1); Já, a Configuração II, corresponde à aeração total distribuída nos pontos identificados como plenum e standpipe; por último, a Configuração III representa a aeração total distribuída nos locais plenum, standpipe e base da loop seal. Durante cada experimento realizado, as pressões estáticas do escoamento gás-sólido foram registradas nas oito tomadas da fornalha.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra os perfis axiais de pressão estática obtidos para as três configurações de aeração, agrupados por velocidade de fluidização e vazão total de aeração aplicada.

Figura 2 – Perfis axiais de pressão estática para as configurações de aeração



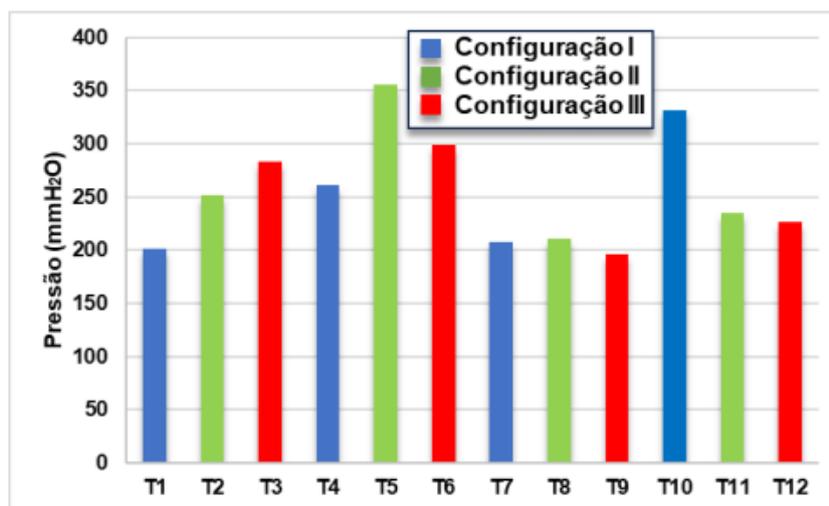
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Uma primeira análise dos resultados da Figura 2 sugere que todas as configurações de aeração propostas forneceram perfis axiais de pressão com a forma esperada para manter o sistema em operação contínua. Conforme informação na literatura (KIM *et al.*, 2002; BASU, 2006), perfis de pressão considerados adequados mostram que a linha de pressão que conecta a região do riser normalmente cruza a linha que liga a base do ciclone à base da loop seal. Além disso, é na base da loop seal onde o valor máximo da pressão deve manifestar-se para acontecer a recirculação dos sólidos.

Ao comparar a configuração de aeração aplicada entre os grupos, percebe-se que, diferentemente das outras duas, o cruzamento das linhas com a configuração III tende a acontecer mais perto da região do ciclone, como resultado de uma baixa queda de pressão experimentada por esse componente do sistema. Pequenas quedas de pressão no ciclone pode ser o reflexo de escoamentos diluídos atravessando o separador gás-sólido, ou alternativamente, de escoamentos concentrados com baixa velocidade de movimentação das partículas.

Os resultados da Figura 3 ajudam a descobrir a causa do comportamento mencionado anteriormente, apresentando o valor médio de todos os pontos de pressão considerados no equipamento. Essa figura mostra os valores médios das pressões estáticas do perfil axial de cada teste realizado com diferentes configurações de aeração.

Figura 3 – Pressão média dos perfis axiais de pressão para as configurações de aeração



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Ao observar o comportamento crescente do valor da pressão média para os testes T1 a T3, realizados com baixa vazão de aeração e baixa velocidade de fluidização no riser, junto com a alta queda de pressão experimentada na região do riser devido ao maior acúmulo de sólidos, a aeração com configuração III parece ter promovido um escoamento concentrado de baixa velocidade na região do ciclone, mais do que um escoamento diluído. Portanto, acredita-se que o escoamento dos sólidos no ciclone foi prejudicado pela presença de uma parcela ascendente do gás de aeração, o que pode acontecer sob forma específicas da aplicação da aeração na presença de uma baixa altura de coluna de sólidos acumulados no standpipe (PECETE, 2023).

Esse efeito da configuração III foi intensificado ao aumentar a vazão da aeração com a manutenção da mesma velocidade de fluidização no riser (testes T4 a T6), o que confirmaria a hipótese anterior. Dessa maneira, ao se constatar também maiores valores médios de pressão estática com as configurações II e III, percebe-se que, para a geometria de pequena escala testada, o uso de apenas um ponto de aeração no plenum seria o mais recomendado em caso de operações do sistema de LFC com baixas velocidades de fluidização. Pelo contrário, ao aumentar a velocidade de fluidização, essa tendência parece se inverter. Nesse caso, a configuração III fica mais vantajosa em relação às configurações I e II, mantendo ainda uma baixa queda de pressão na região do ciclone que, desta vez, é atribuída à presença de escoamento diluído. No perfil axial de pressão, o escoamento diluído no riser fica evidente pela linha de pressão quase vertical nessa região.



## CONCLUSÃO

Embora o funcionamento de todas as configurações de aeração da válvula loop seal praticadas neste estudo tenha sido bem sucedido, conclui-se que as configurações I e II fornecem maior estabilidade operacional às variações aplicadas no protótipo de fornalha de LFC analisado, principalmente para situações em que a velocidade do gás de fluidização no riser, bem como a vazão volumétrica da aeração injetada na válvula loop seal mudem mais de 30%.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) e ao Departamento Acadêmico de Engenharia Química (DAENQ) pelos recursos técnicos para a realização desta pesquisa, bem como ao CNPq e à Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação do Campus Ponta Grossa, pela bolsa de estudos e apoio financeiro.

## Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

## REFERÊNCIAS

BASU, P. **Combustion and gasification in fluidized beds**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2006.

BASU, P.; BUTLER, J. **Studies on the operation of loop seal in circulating fluidized bed boilers**. Applied energy, v. 86, n. 9, p. 1723-1731, 2009.

BASU, P.; CHENG, L. **An analysis of loop seal operations in a circulating fluidized bed**. Chemical Engineering Research and Design, v. 78, n. 7, p. 991-998, 2000.

CHINSUWAN, A.; SOMGUN, J. **An investigation of performance of a conventional U type loop-seal for CFB reactors with side and bottom aerations**, Chemical Engineering Research and Design. v. 163, p. 58–66, 2020.

KIM, S. *et al.* **Pressure balance model for circulating fluidized beds with a loop-seal**. Industrial & Engineering Chemistry Research, v. 41, p. 4949-4956, 2002.

OLIVEIRA, F. **Estudo da influência do modo de aeração de uma válvula loop-seal na operação de um leito fluidizado circulante**. 2019. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

PECETE, A. **Influência das características da aeração de uma válvula loop seal no rendimento operacional do ciclone de um leito fluidizado circulante**. 2023. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2023.