

UMA NOVA SEQUÊNCIA PARA OS VASOS DE INJEÇÃO DE CARVÃO PULVERIZADO DA CSN¹

Bruno da Silva Nora²
Edson da Costa Bortoni³
Luíz Edival de Souza⁴
Ricardo Sebastião Nadur Motta⁵

Resumo

Este trabalho tem como objetivo realizar a conservação de energia, no sistema do PCI, tecnologia do fornecedor Alemão (BMH/Claudius Peters). Onde se pretende prépressurizar o vaso de injeção, com nitrogênio de baixa pressão já existente, reduzindo assim o consumo de energia. A implantação de mais fases ao sistema de injeção dos vasos, foi realizada, por meio do estudo e a medição do tempo gasto de cada uma das fases, para a possibilidade de acréscimo de mais fases. A partir disto realizar o intertravamento da seqüência das fases, sem alterar drasticamente as condições do processo. Com o acréscimo de duas fases ao projeto original foram alcançadas as metas de redução do nitrogênio consumido pela planta em cerca de 15%, além de possibilitar um menor desgaste das válvulas prato e alívio e redução da variação na injeção na troca dos vasos. Esse trabalho mostra as etapas e as técnicas feitas em torno de 12 anos de desenvolvimento. O consumo específico do nitrogênio e energia elétrica do PCI foram reduzidas, tornando operacionalmente mais estável e também econômico na comparação com o projeto original.

Palavras-chave: Vaso de injeção; PCI; Alto-forno.

A New Sequence for Coal Injection Vessels

Abstract

This work aims to achieve energy conservation, into the PCI technology vendor German (BMH / Claudius Peters). Where do you want prépressurizar the vessel injection with low pressure nitrogen already available, thereby reducing energy consumption. The deployment of more stages to the injection system of vessels, was performed by studying and measuring the time spent in each stage, the possibility of adding more stages. From this we realize the interlocking sequence of stages, without drastically changing the conditions of the process. With the addition of two phases to the original design goals have been reached to reduce the nitrogen consumed by the plant by about 15%, and providing a lower wear plate valves and relief and reduction of variation in exchange injection into the vessels. This work shows the steps and techniques made around 12 years of development. The specific consumption of nitrogen and power of PCI have been reduced, making it operationally more stable and also economical in comparison with the original design.

Key words: Injection vessel; Pulverized coal injection; Blast furnace.

¹ Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.

² Engenheiro Eletricista – brunonbp@hotmail.com – (24)99015127;

³ Professor Titular da UNIFEI - Avenida BPS, 1303 - CEP37500 - Itajubá - MG bortoni@unifei.edu.br

⁴ Professor Titular da UNIFEI - Avenida BPS, 1303 - CEP37500 - Itajubá - MG. edival@unifei.edu.br

⁵ Doutorando em Controle de Processos pela UNIFEI e Engenheiro de Desenvolvimento Sênior da CSN. Rod. BR 393, Vila Santa Cecília - Volta Redonda - RJ - nadur@csn.com.br – (24) 9261-8905

1 INTRODUÇÃO

O sistema de injeção de carvão pulverizado, PCI, da CSN foi fornecido e comissionado pela Claudius Peters em 1997. Ele recebe e armazena o carvão bruto com granulometria de até 70 mm para alimentar os transportadores de corrente, que tem a finalidade de distribuir para os moinhos 1 e 2. Os moinhos reduzem e secam o carvão para a granulometria de até 0,9 mm e umidade < 1% com auxílio do gerador de gás quente (GGQ). O ventilador principal succiona os gases da moagem até o filtro de mangas que precipita este carvão em suas tremonhas e é arrastado pelos transportadores helicoidais para os silos de armazenagem de carvão pulverizado.

O silo é mantido inerte por nitrogênio, e os teores de oxigênio e monóxido de carbono são monitorados continuamente contra os riscos de incêndio e explosão. Os silos de finos possuem válvulas automáticas de saída e executam o carregamento dos vasos de injeção com aproximadamente 12 t de finos de carvão. O carvão fino cai por gravidade e é filtrado por uma peneira vibratória antes de abastecer o vaso. Esta peneira tem a função exclusiva de filtrar e reter corpos estranhos ao processo, que venham causar distúrbios de injeção tais como luvas, eletrodos de solda, parafusos.

As estações de injeção de carvão pulverizado são exatamente idênticas tais como são os dois sistemas de moagem. O sistema de injeção do alto-forno 2 possui uma estação de injeção, enquanto o sistema de injeção do Alto-forno 3 possui duas estações de injeção. A estação de injeção é composta por dois vasos, esta tem capacidade máxima de injeção de 50 t/h e mínima de 20 t/h em cada estação.

Os dois vasos de cada estação trabalham em cinco fases distintas (**Carregamento, Pressurização, Espera Pressurizada, Injeção e Alívio**)⁽¹⁾ de modo a garantir a continuidade da vazão de carvão. Enquanto um vaso está injetando para o Alto-forno, seu vaso complementar está se preparando para injetar.

Após a pressurização rápida com nitrogênio de alta pressão dos compressores, o vaso recarregado, está pronto para reiniciar a fase de injeção. Quando o vaso de injeção recebe o sinal de peso mínimo, a troca dos vasos se inicia sem interrupção ou grande variação na injeção. O novo vaso inicia a fase de injeção enquanto o vaso que acaba de atingir 2 toneladas inicia a fase de alívio.

A medição da vazão de carvão pulverizado na linha principal de 3^{1/2}“ é realizada pela variação de peso dos vasos de injeção na unidade do tempo. Um controlador PID realiza o controle da válvula dosadora localizada na saída do vaso de injeção em função do erro entre a vazão de carvão pedida e a real injetada.

Após pressurizados os finos de carvão dentro dos vasos de injeção, são transportados por transporte pneumático em uma tubulação até o distribuidor, que conduz o carvão para as lanças individuais de cada uma das ventaneiras dos Altos Fornos, e são injetados para o interior do forno como combustível para a redução da carga metálica. O carvão injetado substitui o coque combustível carregado via topo do forno. O processo de injeção possibilita altas faixas da redução do custo das fabricas do ferro gusa e permite maior produtividade com o controle do combustível.

Em Birk, Johansson e Medvedev⁽¹⁾ se obteve a descrição do sistema original das fases dos vasos de injeção. Em Assis⁽²⁾ se mostra maiores detalhes e outros tipos de PCI. Em Mills⁽³⁾ foi obtido a base matemática para determinação da pressão do vaso para uma determinada injeção de carvão, em Agrirre⁽⁴⁾ e Luyben⁽⁵⁾ a base matemática para o tempo de pressurização dos vasos de injeção. Em Motta, Zanetti, Figueira e Mendes⁽⁶⁾ e Motta, Zanetti, Figueira e Gonçalves⁽⁷⁾ foram trabalhos desenvolvidos na CSN e onde obtivemos alguns valores e cálculos matemáticos, para o desenvolvimento deste trabalho.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O método utilizado foi por meio de estudo e a medição do tempo gasto de cada uma das fases, para a possibilidade de acréscimo de mais fases, no instante em que o vaso está em espera, mas sempre mantendo ou melhorando a estabilidade na injeção no momento de transição entre os vasos de injeção. A partir disto, realizar o intertravamento da seqüência das fases, com sincronismo e sem alterar drasticamente as condições do processo.

Os materiais utilizados foram PCI, SDCD, temporizador e válvulas automáticas, tubulações, junta de expansão, válvulas de retenção etc.

3 DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES DE INJEÇÃO DE CARVÃO

O sistema de injeção de carvão pulverizado na CSN é composto de três estações de injeção. A estação de injeção de carvão pulverizado é composta em seus principais equipamentos de silo de carvão pulverizado, agitador e fluidizadores do cone do silo, válvulas de saída do silo, peneiras vibratórias, válvula prato e válvula de alívio, vaso de injeção, anel de fluidização e válvulas dosadoras.

Cada estação de injeção é composta basicamente de 2 vasos trabalhando em ciclos alternados, ou seja, enquanto um vaso está injetando o outro está se preparando para a injeção. Assim quando o vaso que está injetando atingir um peso mínimo, o vaso complementar que estava aguardando pressurizado assume a fase de injeção.

A Figura 1 ilustra em maiores detalhes o projeto original da injeção de carvão pulverizado da CSN em 1997.

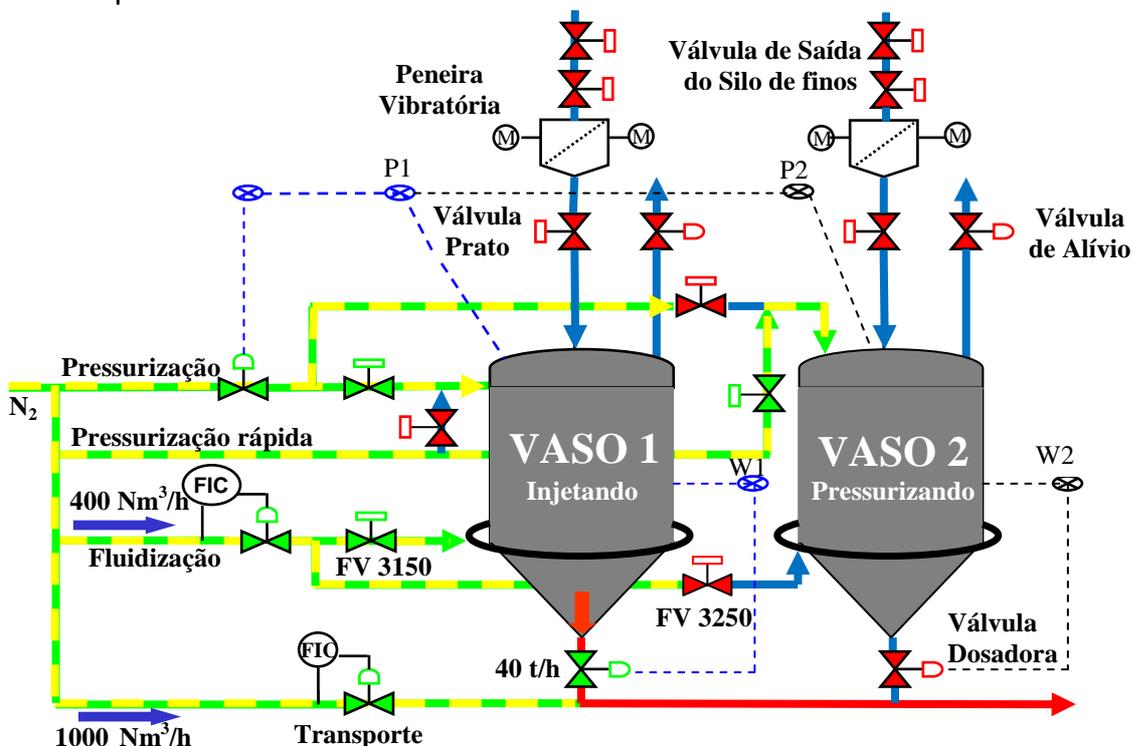


Figura 1 - Detalhes da estação de injeção de carvão pulverizado da CSN.

O período de **Espera Pressurizada** é o tempo em que o vaso oposto espera sua vez pressurizado, tal como engenharia básica da Claudius Peters, até que o vaso que está injetando atinja o peso mínimo estipulado para a troca. Isto é ruim, pois o vaso fica pressurizado sem ser utilizado. O ideal é que o vaso seja pressurizado somente na fase de injeção visando aumentar a vida útil das válvulas de alívio e prato.

A Tabela 1 ilustra o ciclo de funcionamento do projeto original da CSN desenvolvidas pela Claudius Peters e descritas por Birk, Johansson e Medvedev,⁽¹⁾ tendo 5 fases para a estação, que são: **Injeção, Carregamento, Pressurização, Injeção e Alívio**. Os tempos são para a capacidade típica de injeção de 30 t/h, ou PCR = 150 kg/Tongusa para uma produção diária de 10.000 ton/dia.

Tabela 1 – Descrição do projeto original das fases da estação de injeção

Fase	Nome	Descrição	Tempo
1	Carregamento	O vaso despressurizado é carregado com carvão pulverizado até 12 ton	$T_C = 350$ s
2	Pressurização	O vaso de injeção é pressurizado com nitrogênio de pressão alta (12 Bar)	$T_P = 200$ s
3	Espera Pressurizada	O vaso é mantido pressurizado com nitrogênio de pressão alta (12 Bar) até a fase de injeção	900 s
4	Injeção	O carvão pulverizado do vaso é injetado para o Alto-forno até atingir o peso mínimo de 2 ton para a troca com o vaso oposto	$T_I = 1200$ s
5	Alívio	O vaso é aliviado gradativamente até zerar sua pressão, para uma nova fase de carregamento	$T_A = 150$ s

3.1 Fase de Carregamento

O vaso está vazio, com sua válvula de alívio aberta o que significa que está despressurizado e inicia a abertura da válvula prato (ou de Carregamento) no topo do vaso. Em seguida a peneira de finos entra em operação e abre a válvula de fechamento do silo de finos. Neste momento, um agitador mecânico e a fluidização de nitrogênio localizados na tremonha do silo de finos iniciam sua operação.

Ao completar esta seqüência, o vaso já está em enchimento, permanecendo até o vaso atingir o peso de 12,5 t, quando se inicia a paralisação do agitador, o fechamento da fluidização do silo, o fechamento da válvula de fechamento do silo. A peneira permanece por 30 segundos em operação para completar a sua limpeza e logo em seguida, a válvula prato é fechada encerrando a fase de carregamento.

3.2 Fase de Pressurização e Espera Pressurizada

A fase de pressurização inicia-se com os fechamentos da válvula prato e a válvula de alívio do vaso de injeção, logo após inicia-se a fase de pressurização até atingir aproximadamente a pressão de injeção, definida pelas equações (1) e (2) e também mostrado em Mills.⁽³⁾

$$P_v(\text{bar}) = P_{Mín} + F^* (C_{Requ} - C_{Mín}) \quad (1)$$

$$F^* = (P_{Máx} - P_{Mín}) / (C_{Máx} - C_{Mín}) \quad (2)$$

Onde:

P_{MAX} = Pressão máxima do vaso = 12 (bar);

P_{MIN} = Pressão mínima do vaso = 10 (bar);

C_{MAX} = Vazão máxima de injeção de carvão = 50 (t/h);

C_{MIN} = Vazão mínima de injeção de carvão = 20 (t/h);

C_{REQU} = Vazão de injeção de carvão solicitada pelo Alto-forno (t/h).

Atingido esta pressão, a válvula de nitrogênio de pressurização é fechada e o vaso está pronto para iniciar a injeção. Ele ficará esperando pressurizado com 12 Bar até o momento do início de injeção que se dará quando o vaso oposto, que está injetando atingir o peso mínimo de 2 ton.

3.3 Fase de Injeção

No início da fase de injeção, o vaso está com aproximadamente 12 toneladas de carvão pulverizado, com pressão de 12 Bar e a válvula dosadora aberta, a válvula de alívio fechada, a válvula prato fechada, a válvula de pressurização fechada, a válvula da fluidização aberta e a válvula de fechamento de controle de pressão do vaso aberta para manter a pressão constante. Quando o vaso de injeção atingir 2 ton, a válvula dosadora fecha e em seguida, a injeção de carvão pulverizado do vaso oposto é iniciada.

A Figura 2 ilustra a base cônica dos vasos de injeção 1 & 2 do Alto-forno 2, bem como as válvulas dosadoras e sua unidade hidráulica de comando.



Figura 2 - Vasos de Injeção 1 & 2 do Alto-forno 2 da CSN.

3.4 Fase de Alívio

Após o vaso atingir o seu peso mínimo fecha-se a válvula dosadora e inicia-se a fase de alívio para despressurizar o vaso e permitir novo carregamento de carvão fino. A válvula de alívio possui $\Phi 7 \frac{3}{4}$ " na entrada e $\Phi 15 \frac{3}{4}$ " de diâmetro na saída da válvula. A válvula de alívio é do tipo controlador de pressão, impedindo que o vaso de injeção alivie de forma descontrolada no silo de finos. A válvula de alívio procura manter uma pressão máxima de 0,15 Bar, para evitar danificar as juntas de vedação dos equipamentos.

A Figura 3 ilustra a válvula de alívio do vaso 4 do AF#3.



Figura 3 - Válvula de Alívio do vaso 4 do Alto-forno 3 da CSN.

4 MODELAGEM DOS TEMPOS DAS FASES DE INJEÇÃO

A medição dos tempos das fases tem por finalidade interligar a lógica dos vasos, para garantir o sincronismo e o bom funcionamento dos mesmos. Os tempos de **Alívio**, **Carregamento** e **Pressurização**, juntos, devem ser um pouco menor que o tempo para a **Injeção**, assim o próximo vaso fica preparado esperando o vaso que está injetando atingir o peso mínimo.

A simulação do tempo previsto para o termino da fase de injeção e do tempo previsto para pressurização a serem definidos serão de fundamentais importâncias para os intertravamentos das sete fases para a estação de injeção de carvão pulverizado.

4.1 Tempo de Carregamento

Na fase de carregamento, o vaso é abastecido com carvão elevando seu peso de menos de 2 t para mais de 12 t para ser injetado no próximo ciclo. O tempo de carregamento do vaso é o tempo gasto para se abastecer o vaso desde seu peso vazio, 2 t até 12 t. Ele é medido por um temporizador que parte quando o carregamento é iniciado, ou seja, assim que a válvula prato de admissão do vaso é aberta. Quando o vaso atinge seu peso máximo, o tempo, T_c , é registrado como o tempo gasto pela fase de carregamento.

Os tempos típicos de carregamento estão em torno de 300 s, conforme requerido pelo projeto com velocidade de peneiramento de 2,5 t/min. É tolerado que este tempo seja de até 400s, sendo que tempos maiores poderão indicar um entupimento parcial da tubulação de carregamento, obstrução da placa de orifício que tem por função limitador a vazão de carvão, corpos estranhos na peneira, etc....

4.2 Tempo de Alívio

A válvula de alívio possui um atuador pneumático comandado por um posicionador pneumático integrante. Ela deve aliviar toda a pressão do vaso após a fase de injeção, permitindo uma nova fase de carregamento. O tempo de alívio foi previsto em projeto para aliviar 10 Bar de um vaso de 25 m³ é de 150 s a 180 s. O tempo de alívio, T_A , é medido assim que a válvula de alívio inicia sua abertura. O temporizador é parado assim que a pressão do vaso for menor que 0,2 Bar durante 10 segundos, quando a fase de carregamento é iniciada.

4.3 Tempo de Pressurização Calculado e Medido

O tempo de pressurização teórico pode ser estimado com precisão com o auxílio da equação (3). Para uma melhor modelagem pode-se consultar Agrirre⁽⁴⁾ e Luyben:⁽⁵⁾

$$T_p = (P_v - P_{Tanque}) \times \frac{15}{17} \quad [\text{Seg.}] \quad (3)$$

Onde:

P_v = Pressão final de injeção do vaso ("Set Point" de pressão do vaso);
 P_{tanque} = Pressão dos tanques de Nitrogênio ("Set Point" em 17 bar).

4.4 Tempo de Espera Pressurizada

Como o vaso se pressurizava logo após o **Carregamento**, o tempo de **Espera Pressurizada** dependia essencialmente da taxa de injeção. Para a maior taxa de **Injeção** do projeto, este tempo de folga mínima prevista pelo projeto para não causar interrupção na **Injeção** era de 2,1 minutos na taxa máxima de 50 ton/h.

Em taxas de injeção normais de 30 t/h, o vaso permanecia cerca de 15 minutos pressurizado desnecessariamente. Durante esta fase, se houvesse algum vazamento, ele seria aumentado gradualmente. Como visto, todo desenvolvimento efetuado para minimizar os vazamentos nas válvulas prato e alívio contribuiu para a constância da vazão de carvão, diminuindo sua variação, devido à estabilidade da pressão de injeção.

Se por exemplo a taxa de injeção requerida pelo alto-forno for de 30 t/h, o "Set point" de pressão de injeção do vaso será de aproximadamente 10 Bar, resultando num tempo típico de pressurização de 150 segundos. Toda vez que a fase de pressurização é iniciada este cálculo é refeito. Já o tempo de pressurização real é medido por um temporizador que parte quando a válvula de pressurização rápida é aberta e para quando fecha, ou seja, quando atinge a pressão final de injeção do vaso.

4.5 Tempo de Injeção e Previsão para o Término da Injeção

O temporizador do tempo de injeção decorrido do vaso, T_i , é iniciado quando a válvula dosadora abre para assumir o controle da injeção de carvão. No fim da fase de injeção, quando o peso do vaso é mínimo e sua válvula dosadora já fechou, o temporizador é parado e retém o tempo decorrido na fase de injeção. Este valor é usado no cálculo da capacidade de injeção máxima teórica da estação de injeção demonstrado em Motta, Zanetti, Figueira e Mendes⁽⁶⁾ e Motta, Zanetti, Figueira e Gonçalves⁽⁷⁾.

O tempo previsto para o término da injeção em segundos é calculado a todo instante e apresentado em tempo real. Ele é tal como a seguir na fórmula (4):

$$T_{Fim} = \left(\frac{P_{Atual} - P_{Mín}}{Tx} \right) \quad (4)$$

Onde:

T_{fim} = Tempo previsto para o término da **Injeção** em segundos.

T_x = Taxa de **Injeção** em t/h, conforme demanda do alto forno.

P_{atual} = Peso atual do vaso de **Injeção** em toneladas.

$P_{mín}$ = Peso mínimo, normalmente ajustado em 2 toneladas.

O Tempo previsto para o Término da **Injeção** é usado para definir o fim da **Espera Despressurizada** dos vasos de **Injeção**, ou seja, para “autorizar” o término da preparação de **Injeção** do vaso com o nitrogênio dos tanques através da válvula de **Pressurização** rápida.

4.6 Capacidade Máxima de Injeção Teórica

A taxa de injeção nominal máxima é a taxa na qual a continuidade do sistema é garantida, isto é, assim que um vaso acabou de injetar, o vaso oposto acabou de pressurizar no mesmo instante. Isto significa que o tempo de espera do vaso oposto foi zero ($T_E=0$). Assim, quando o tempo de injeção for mínimo, a taxa de injeção será máxima, conforme ilustra a fórmula 5:

$$TX_{máx} = \lim_{T_I \rightarrow \min} = \frac{12 \text{ ton} - 2 \text{ ton}}{T_I \text{ min}} \quad (5)$$

O tempo de injeção mínimo por sua vez será igual o tempo de preparo do vaso oposto, para garantir a continuidade da injeção. A fórmula 6 ilustra:

$$T_{I \text{ mín}} = T_A + T_C + T_P \quad (6)$$

5 ESPERA DESPRESSURIZADA DOS VASOS DE INJEÇÃO

O tempo de **Espera Despressurizada** é iniciado assim que o vaso termina a fase de **Carregamento**. Durante este tempo o vaso está apto a receber pressão ou permanecer despressurizado até que o tempo previsto para o término da **Injeção** do vaso oposto seja menor que o tempo necessário para o vaso pressurizar, mais um tempo de segurança, de acordo com a fórmula (4).

A tabela 2 a seguir ilustra o ciclo de funcionamento das 6 fases da estação de Injeção numa segunda etapa de desenvolvimento, incluindo a nova fase de espera despressurizada realçada em azul nas mesmas condições operacionais da Tabela 1. Os cálculos utilizados no intertravamento foram efetuados no item 4 anterior.

Tabela 2 - Descrição das fases da estação de Injeção na 2ª etapa.

Fase	Nome	Descrição	Tempo
1	Carregamento	O vaso despressurizado é carregado com carvão pulverizado até 12 toneladas	350 s
2	Espera Despressurizada	O vaso já carregado aguarda despressurizado até o tempo previsto para o término da injeção do vaso oposto alcance o valor mínimo	480 s
3	Pressurização	O vaso de injeção é pressurizado com nitrogênio de pressão alta (12 Bar)	200 s
4	Espera Pressurizada	O vaso é mantido pressurizado com nitrogênio de pressão alta (12 Bar) até a fase de injeção.	20 s
5	Injeção	O carvão pulverizado do vaso é injetado para o Alto-forno até atingir o peso mínimo de 2 ton para a troca com o vaso oposto.	1200 s
6	Alívio	O vaso é aliviado gradativamente até zerar sua pressão, para uma nova fase de carregamento	150 s

6 SISTEMA DE PRÉPRESSURIZAÇÃO

A nova fase **Espera Despressurizada**, criou condições para a **Prépressurização** dos vasos de injeção permitindo a utilização do nitrogênio de baixa pressão para um vaso qualquer das estações de injeção.

O projeto da **prépressurização** consiste em realizar uma pressurização no vaso de injeção de carvão pulverizado, com nitrogênio de pressão baixa (3 a 4 bar), advindo diretamente da Fábrica de Oxigênio (Fox) passando por um "By pass" dos compressores visando a economia de energia elétrica.

Durante este tempo, o vaso está em **Espera Despressurizada** ou **prépressurização** dependendo se a **prépressurização** dos vasos estiver implementada e em funcionamento. Mesmo com o sistema de **prépressurização** desligado, existe o ganho no desempenho da planta proporcionada pela **Espera Despressurizada** que aumenta o tempo de vida das válvulas prato e alívio.

Com o sistema de prépressurização ligado, o vaso está pronto para receber N_2 da rede de baixa pressão. Após a prépressurização, o vaso abre a válvula de pressurização rápida (N_2 de alta pressão 17 Bar) para obter a pressão final de injeção, ou seja, quando o tempo previsto para o término da injeção é igual ao tempo previsto para a pressurização do vaso de injeção, garantido a continuidade da vazão de carvão.

O trabalho de Motta, Zanetti, Figueira e Mendes⁽⁶⁾ projetou uma tubulação *By-pass* na entrada dos compressores de nitrogênio de alta pressão, para melhorar a eficiência energética da planta. O sistema de prépressurização dos vasos de injeção com nitrogênio de pressão baixa foi desenvolvido e implantado pela CSN no trabalho de Motta, Zanetti, Figueira e Gonçalves.⁽⁷⁾

Nesta nova seqüência, a pressurização do vaso ocorre em duas etapas. Primeiramente, logo após a espera despressurizada, inicia-se uma prépressurização com nitrogênio de baixa pressão até o valor de 3 Bar. Logo após, a válvula de prépressurização é fechada e em seguida a pressurização com nitrogênio de alta pressão é realizada complementando o vaso até a pressão de injeção obtida por (1).

A Figura 4 ilustra a válvula automática de 4" para a fase de prépressurização.

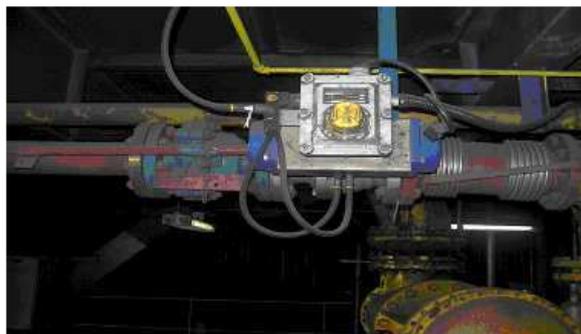


Figura 4 - Válvula Automática de Prépressurização de 4".

Para garantir a possibilidade de prépressurização, ou recepção de N_2 de baixa pressão pelo vaso, as fases dos vasos foram novamente divididas para que a filosofia fosse aplicada. Assim, as fases dos vasos foram rescritas em 7 fases distintas: **Carregamento**, **Espera Despressurizada**, **Prépressurização**, **Pressurização**, **Espera Pressurizada**, **Injeção**, e **Alívio**. A tabela 3 ilustra a nova divisão das fases:

Tabela 3 – Fases dos vasos de Injeção após a prépressurização

	Descrição	Tempo [s]	Pressão [bar]	Válvula de Prépressurização
1	Carregamento	300 a 400	0,0	Fechada
2	Espera Despressurizada	480	3,0 ~ 5,0	Fechada
3	Prépressurização	40	3,0 ~ 4,0	Aberta
4	Pressurização	140	3,0 ~ 12,0	Fechada
5	Espera Pressurizada	20	12,0	Fechada
6	Injeção	1200	12,0	Fechada
7	Alívio	150 a 180	5,0~ 0,0	Fechada

Neste caso, o tempo de espera ocorrerá após o sinal obtido 10s após o fechamento da válvula de alívio em condições normais de operação. No início da fase de prépressurização, o vaso se encontra carregado e despressurizado, porém receptivo ao N₂ de baixa pressão.

Com o advento da **Prépressurização** do vaso de nitrogênio, veremos que cerca de ¼ do volume de **Pressurização** é economizado. Uma melhor estimativa pode ser obtida pelo modelo em Luyben⁽⁵⁾. Porém, o tempo de **Pressurização** estimado pode ser novamente calculado tal com em (7), o que atende as expectativas de intertravamento das fases.

$$T_p = \left((P_V - P_I) \times P_{Tanque} \right) \times \frac{15}{17} \text{ [Seg.]} \quad (7)$$

Onde:

P_v = Pressão final de injeção do vaso (10 a 12 Bar).

P_{tanque} = Pressão dos tanques de Nitrogênio (17 Bar).

P_i = Pressão de equalização da prépressurização dos vasos.

7 RESULTADOS

7.1 Monitoração dos Tempos de Cada Fase

Uma tela gráfica 92 (Figura 5), foi configurada no SDCD (Sistema Digital de Controle Distribuído) da Yokogawa do PCI da CSN para monitorar os ciclos e as fases das estações de injeção exibindo em tempo real os períodos gastos por cada fase do ciclo dos vasos. Ela é uma tela dinâmica atualizada em tempo real.

Pode-se acompanhar o tempo de alívio e o desempenho de seu controlador para cada vaso de injeção. Pode se ver também a máxima capacidade de injeção teórica calculada, bem com o tempo de carregamento dos vasos de injeção.

A matriz é composta de parâmetros e medidas nas colunas, e os seis vasos de injeção do PCI nas linhas, mostrando o tempo gasto por bem como os valores instantâneos de suas variáveis de processo tais como pressão e taxa de injeção.

MONITORAÇÃO DOS CICLOS DAS INJEÇÕES

PARAMÉTRICOS	TEMPO DE CARREGAMENTO [SEG]	TEMPO ESV. BARRICA [SEG]	TEMPO FECHAR PRATO [SEG]	TEMPO FBCH ALIVIO [SEG]	TEMPO TOTAL DE CARREGAMENTO [SEG]	PARAMÉTRICOS DO ALIVIO [SEG]	PESOS [TON]	TEMPO DE ESPERA DESPRESSUR [SEG]	TEMPO DE PRESSUR [SEG]	TEMPO DE ESPERA PRESSUR [SEG]	TEMPO DE INJEÇÃO [SEG]	PREVISTO TERMINO INJEÇÃO [SEG]	CAPACIDADE MÁXIMA DE INJEÇÃO [TON/H]
EQUIPAMENTOS TAXA INJ. AF#2 21.02 Ton/h VASO 1 AF#2 PRESSURIZANDO	EXPANDIDO 561 INICIAL 561 PV 315	60	12	4	434	SV 600 MBAR PV -13 MBAR P=400I=30D=0 TEMPO 133	MAX 12.00 ATUAL 12.68 MIN 2.00	1040	150 104 9.8 BAR	27	1950	1825	47.75
VASO 2 AF#2 INJETANDO	EXPANDIDO 595 INICIAL 595 PV 308	60	12	4	423	SV 600 MBAR PV -4 MBAR P=400I=30D=0 TEMPO 194	MAX 12.00 ATUAL 2.40 MIN 2.00	1128	188 138 10.4 BAR	1756	1772	69	52.63
TAXA INJ. AF#3 31.28 Ton/h VASO 1 AF#3 INJETANDO	EXPANDIDO 441 INICIAL 441 PV 303	45	12	1	397	SV 600 MBAR PV 26 MBAR P=400I=30D=0 TEMPO 187	MAX 12.00 ATUAL 9.90 MIN 2.00	355	177 130 12.2 BAR	50	382	910	55.21
VASO 2 AF#3 CARREGANDO	EXPANDIDO 442 INICIAL 442 PV 164	45	12	2	189	SV 600 MBAR PV 36 MBAR P=400I=30D=0 TEMPO 185	MAX 12.00 ATUAL 7.62 MIN 2.00	416	177 110 -0.0 BAR	80	1176	647	51.80
TAXA INJ. AF#2 33.48 Ton/h VASO 3 AF#3 PREPARADO	EXPANDIDO 445 INICIAL 445 PV 333	45	12	5	425	SV 600 MBAR PV -7 MBAR P=500I=30D=0 TEMPO 165	MAX 12.00 ATUAL 12.06 MIN 2.00	91	177 109 -0.0 BAR	43	1188	1147	52.17
VASO 4 AF#3 INJETANDO	EXPANDIDO 441 INICIAL 441 PV 276	45	12	5	371	SV 600 MBAR PV 36 MBAR P=400I=30D=0 TEMPO 168	MAX 12.00 ATUAL 5.34 MIN 2.00	410	177 102 12.0 BAR	39	753	413	56.16

Figura 5 - Matriz de parâmetros tempos das fases de cada vaso do PCI.

7.2 Sistema de Pré-pressurização com Nitrogênio de Baixa

Uma outra tela gráfica 90 (Figura 6), foi configurada no SDCD a visualização do funcionamento das válvulas automáticas de prepressurização bem como os tempos de segurança para que o intertravamento seja efetuado. Ela também é uma tela dinâmica atualizada em tempo real.

Pode-se acompanhar o tempo previsto para o término da injeção de cada vaso bem como os tempos de segurança para prepressurização (Tseg2) com nitrogênio de baixa pressão (3,3 Bar) direto da FOX e a pressurização rápida (Tseg1) efetuada com alta pressão (17 Bar) dos compressores de nitrogênio do PCI.

Observa-se também uma sétima válvula automática que interliga a rede de prepressurização com a rede de nitrogênio baixa pressão, que é o *by-pass* dos compressores. Ela só é aberta quando uma das outras seis válvulas de prepressurização abriram devido ao intertravamento descrito anteriormente. Pode-se ver também os valores instantâneos das variáveis de processo dos vasos de injeção tais como pressão, peso atual e taxa de injeção.

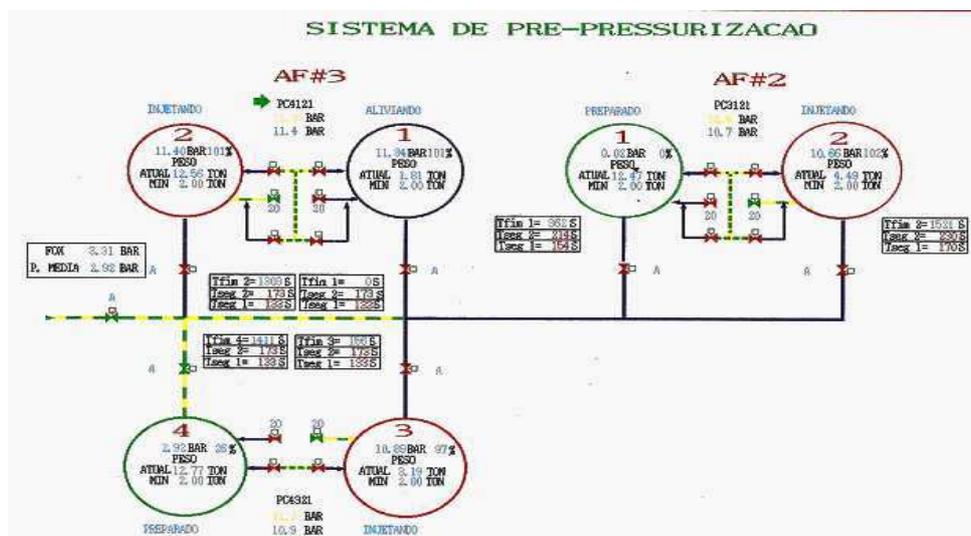


Figura 6 - Sistema de prepressurização desenvolvido pela CSN.

8 DISCUSSÃO

A modelagem dinâmica da estação de carvão pulverizada realizada por Birk, Johansson e Medvedev⁽¹⁾ requer uma nova versão que considere estas novas fases de funcionamento, bem com a vazão de fluidização. Isto é necessário para que seja realizado o controle moderno com lógica Fuzzy, ou redes neurais e controladores LQG obtidos através das técnicas de identificação de sistemas de Luyben,⁽⁵⁾ ao invés do controle clássico da vazão de carvão na linha principal de injeção efetuado com controladores PID.

9 CONCLUSÕES

O tempo percentual em que o vaso permanece pressurizado diminui com conseqüente aumento da vida útil das válvulas prato e alívio especiais do PCI de seis meses para nove meses, ou seja, em + 50% de extensão de vida útil aproximadamente.

A economia de energia elétrica e repotencialização do PCI proporcionaram ganhos na capacidade de injeção e na otimização do processo.

As idéias aqui apresentadas têm a vantagem de poderem ser reproduzidas e implementadas em qualquer planta de injeção de carvão pulverizado que tenha tecnologia da Claudius Peters, que são atualmente cerca de 200 plantas no mundo.

REFERENCIAS

- 1 Birk, W., Johansson, A., Medvedev, A. Model-Based control for a fine coal injection plant. IEEE Control System Magazine, 19(1),33-43. International conference on control applications (pp 127-132);
- 2 Assis, P.S. Injeção de Materiais Pulverizados em Altos Fornos. Brasil: ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Metais, Outubro de 1993;
- 3 Mills, D. Pneumatic Conveying Design Guide. London/ United Kingdom: Second Edition. Elsevier Butterworth-Heinemann - 30 Corporate Drive, Burlington, MA 01803, 2004;
- 4 Agrirre, L.A. Introdução a Identificação e Sistemas Técnicas Lineares e não-lineares Aplicadas a Sistemas Reais. 3ª Edição, Editora UFMG, 2007;
- 5 Luyben, W.L. Process Modelling, Simulation and Control for Chemical Engineers International Student Edition. McGraw-Hill, 1973;
- 6 Motta, R.S.N.; Zanetti, C.H., Figueira R.B.; Mendes A. R. Expansão da Capacidade Nominal de Injeção da Planta PCI da CSN de 40 para 50 T/h. João Monlevade/ MG: XXII Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades da ABM, 28, 29 e 30 de Junho de 2000;
- 7 Motta, R.S.N.; Zanetti, C.H., Figueira R.B.; Gonçalves G. O. Desenvolvimento do Sistema de Injeção de Carvão Pulverizado da CSN. Santos/ SP: VII Seminário de Automação de Processos Industriais da ABM, 15 e 16 de Outubro de 2003.