



SISTEMA DE INJEÇÃO DE TITÂNIO DO AF#3 DA CSN*

Leonardo de Carvalho Vidal¹

Luiz Edival de Souza²

Ricardo Sebastião Nadur Motta³

Raphael Fortini de Lima⁴

Sebastião Jorge Xavier Noblat⁵

Resumo

O Alto-Forno 3 da CSN, Companhia Siderúrgica Nacional, iniciou-se sua 3ª campanha no dia 07/08/2001. Chama-se cadinho à região localizada na base do alto-forno cuja finalidade é armazenar, por um período de tempo controlado, o ferro-gusa e a escória. Esta região é altamente crítica para a operação do equipamento, pois o contato permanente do fluxo de ferro-gusa líquido torna esta área altamente suscetível a desgastes. A construção do cadinho é realizada de modo a minimizar este efeito, utilizando-se blocos de carbono de alta resistência em suas paredes internas. Assim, o cadinho determina a vida útil de um alto-forno. A preservação do desgaste dos blocos do cadinho com titânio é de vital importância, visto que, existem diversos riscos da não monitoração, tais como: identificação de possíveis pontos quentes, desgaste acentuado dos blocos de carbono, por temperatura elevada, rompimento do cadinho com vazamento de gusa líquido com conseqüente risco de atingir pessoas e grandes danos ao equipamento e parada operacional do Alto-forno 3 por longo período. O sistema de injeção de titânio possibilita a mitigação dos pontos quente preservando o cadinho e estendendo a campanha do Alto-forno. O sistema de injeção de titânio mostrou sua funcionalidade e aplicação na injeção de Ilmenita, pó de coletor, plástico e outros sólidos granulados injetados nas ventaneiras do Alto-Forno 3, através de um novo sistema de automação, incluindo: PLC, balança de pesagem, novas malhas de controle inéditas. Trata-se de um processo inédito nas Américas. Com este desenvolvimento, a vida útil do cadinho do Alto-Forno 3 poderá ser expandida elevando sua atual campanha para mais que 20 anos.

Palavras-chave: Alto-forno; Injeção de materias; Cadinho; Titânio.

THE CSN'S BF 3 TITANIUM INJECTION SYSTEM

Abstract

The CSN's blast furnace 3, National Steel Company, has started the 3rd campaign on 07/08/2001. The aim of the Titanium Injection system is to control the hot spots in the hearth region of the Blast Furnace at the bottom. This region is highly critical to the operation of the equipment, since prolonged contact of the flow of molten pig iron makes this area highly susceptible to wear. The construction of the Blast Furnace hearth has been made to minimize this effect, using carbon blocks of high resistance in its inner walls. Thus, the crucible Blast Furnace determines the useful life of a blast furnace. The Blast Furnace's hearth blocks wear preservation with titanium is very important, since there are many risks of not monitoring such as: possible hot spots identification, excessive wear of carbon blocks due to high temperature, crucible Blast Furnace's disruption with hot metal leak and consequent risk of reaching people and extensive damage to the equipment and Blast furnace 3 stops to work for a long time. The titanium's injection system is able to mitigate crucible Blast Furnace's hot spots, extending the campaign of the Blast furnace. The titanium injection system has showed its functionality and application in Ilmenite injection, collector powder, plastic and other granulates solids injected in Blast furnace 3 tuyere using a new automation system, including: PLC, weighing scale, new unprecedented control meshes. With this development, the Blast Furnace's hearth life-time from Blast furnace 3 can be now expanded increasing its current campaign for more than 20 years.

Keywords: Blast furnace; Material injection; Hearth; Titanium.

¹ Doutorado em Engenharia Elétrica, UNIFEI, Itajubá, MG, Brasil.

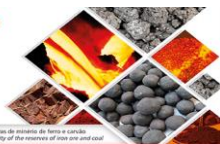
² Prof. Dr. em Engenharia Elétrica, UNIFEI, Itajubá, MG, Brasil.

³ Doutor, Eng. Elétrica, Eng. de Desenvolvimento Sênior, Gerência Geral dos Altos-fornos, CSN, Volta Redonda, RJ, Brasil.

⁴ Técnico em Metalurgia, Eng. de Desenvolvimento Sênior, Gerência Geral dos Altos-fornos, CSN, Volta Redonda, RJ, Brasil.

⁵ Eng. Metalúrgico, Especialista em Siderurgia, Gerência Geral de Processos Siderúrgicos, CSN, Volta Redonda, RJ, Brasil.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



1 INTRODUÇÃO

A descrição funcional dos processos industriais de transporte pneumático, equipamentos típicos bem como as técnicas de controle de processo e instrumentação da injeção de combustíveis alternativos como gás natural, óleo, e principalmente o carvão pulverizado são descritas em [1].

A injeção de materiais provenientes de despoeiramento, pó de coletor de alto-forno, plástico granulado, moinha de coque e outros resíduos siderúrgicos em forma de pó em altos-fornos é descrita em detalhes em [2]

A história do titânio no Alto-forno, o carregamento de titânio pelo topo, e a vantagem da injeção de titânio pela ventaneira com relação ao carregamento pelo topo bem como a aplicação prática da injeção pontual e a injeção distribuída de titânio são descritos em vários artigos recentes como alternativa econômica na expansão da vida útil dos altos-fornos entre os quais se cita [3].

Adquirir e instalar um micro sistema de injeção de materiais pulverizados a base de óxido de titânio em altos-fornos constitui hoje uma necessidade para mitigar pontos quentes no cadinho e expandir sua vida útil.

A CSN não possui uma máquina capaz de injetar materiais pulverizados e granulados tais como sintetizados e concentrados de titânio em determinados pontos de seu Alto-forno 3. Foram pesquisados diversos sistemas de injeção de diversos fabricantes mundiais entre os quais se destacam duas empresas muito bem conhecidas no mercado internacional tais como [4] e [5]. Porém, o equipamento de [4] foi escolhido pela CSN por possui melhor desempenho devido à larga experiência mundial preliminar em injeção em altos-fornos e por não possuir partes mecânicas (tipo válvulas rotativas) na malha de controle de vazão, o que torna o sistema de injeção como um todo mais robusto, confiável e estável.

Inicialmente teve-se como objetivo projetar-se um sistema de injeção de titânio que tivesse retorno econômico com a injeção de materiais combustíveis alternativos mesmo quando da não necessidade de injeção de titânio. A Figura 1 ilustra o sistema de injeção de titânio projetado e suas quatro linhas de transporte pneumático para injeção nas lanças do Alto-forno 3 da CSN.

* *Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

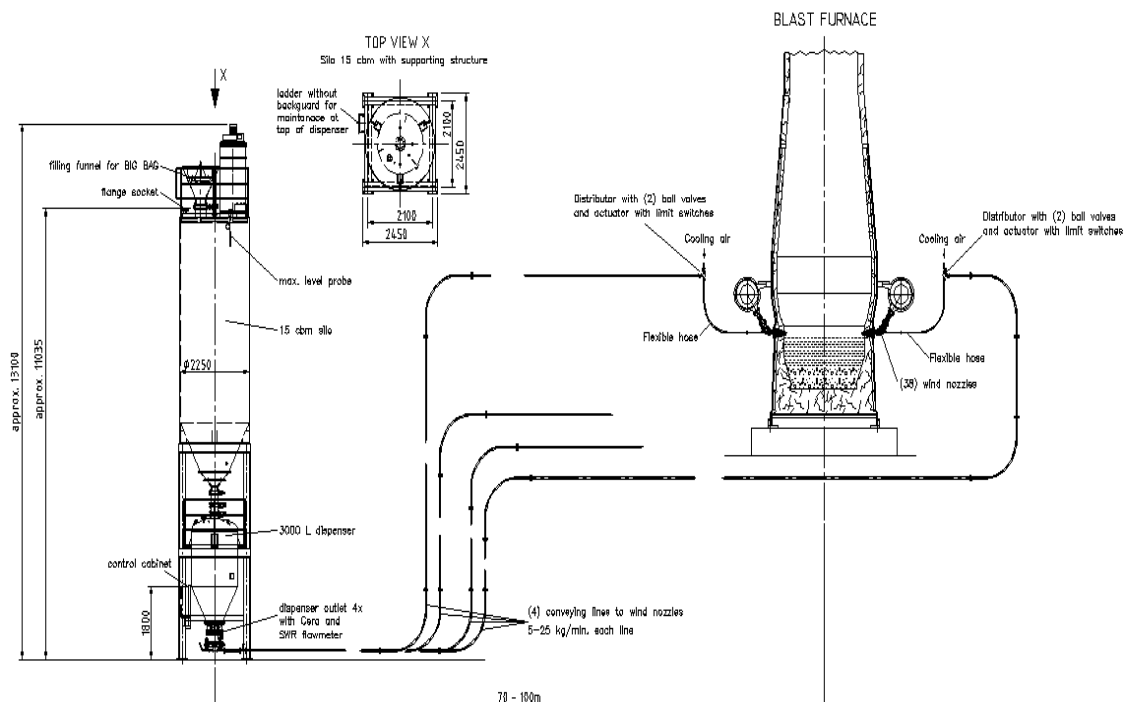


Figura 1 – Sistema de Injeção de Titânio no Alto-forno 3 da CSN

2 ESTUDOS E EXPERIÊNCIAS PRELIMINARES

Efetuiu-se uma pesquisa a nível mundial procurando as usinas siderúrgicas que já tivessem alguma experiência na injeção de combustíveis alternativos e titânio, principalmente o pó de coletor e o Rutilit, o que formaria um sistema de realimentação tornando o alto-forno economicamente mais eficiente.

A usina da empresa Sueca SSAB na cidade de Luleo foi a empresa encontrada que mais avançou na experiência com injeção de pó de coletor e sua alta abrasividade quando conduzida por transporte pneumático.

A Figura 2 ilustra o desgaste causado pelo pó de coletor, cortesia da empresa SSAB:



Figura 2 – Desgaste na lança de injeção provocado pelo coletor de pó.

* *Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*



A Figura 3 ilustra o dano e o desgaste causado pela alta abrasão do pó de coletor durante as tentativas de injeção prolongadas (> 3 meses). Cortesia da empresa SSAB/Luleo:



Figura 3 – Dano causada na ventaneira da SSAB/Luleo

Estudaram-se também os diversos materiais pulverizados utilizados na para injeção em altos-fornos [2] para redução de consumo de coque, bem como os fornecedores de máquinas de transporte pneumático com experiência de injeção em altos-fornos que possuíssem a mais avançada tecnologia visando a distribuição uniforme e o controle seguro da injeção sem utilizar válvulas rotativas ou outros equipamentos que apresentam alto desgaste na presença de transporte pneumático de materiais abrasivos.

3 DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DO SISTEMA

Os equipamentos principais que compõe o sistema de injeção de titânio: Silo de armazenar, funil de abastecimento, linha de abastecimento, válvula anti-explosão, canhões de choque de ar, filtros e exaustor de despoejamento, sondas de nível, cone de fluidização, vaso de injeção, válvulas de fechamento e controle, mangueiras flexíveis de curvas de cerâmica, sistemas de controle e instrumentação dedicada a detecção de fluxo de sólidos, etc.

3.1 Localizações dos Equipamentos e Disposição na Sala de Corridas

O duto de descarte de entulho e sujeira do piso da sala de corridas do Alto-forno 3 da CSN sala de corridas, conhecido também como “bota-fora”, sua falta de uso, proximidade com o alto-forno e sua disposição estratégica com acesso de carregamento por ponte rolante existente e caminhão permitiram um local ideal de instalação do sistema de injeção de titânio.

A Figura 4 ilustra o sistema de injeção de titânio montado na CSN:

* *Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

Redução de Minério de Ferro & Tecnologia Mineral

Ironmaking and Mineral Technology

44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas
15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro
2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro
44^o Ironmaking and Base Materials Seminar
15^o Brazilian Symposium on Iron Ore
2^o Brazilian Symposium on Agglomeration of Iron Ore

Topic Center: Desafios para a mineração e siderurgia frente à nova realidade das reservas de minério de ferro e carvão
Main Theme: Challenges for mining and steel making facing the current and future quality of the reserves of iron ore and coal



Figura 4 - Sistema de injeção de titânio do Alto-forno 3 da CSN

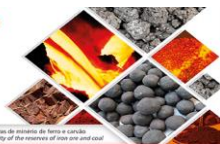
3.2 Utilizações de Ativos e Recursos Existentes

A utilização de ativos existentes é uma das premissas de nossa empresa e base do bom senso econômico de qualquer projeto novo de engenharia. Para tal lançou-se uso duto de descarte para instalação do sistema de injeção de titânio conforme ilustra a Figura 5:



Figura 5 – Instalação modular na sala de corridas do Alto-forno 3 da CSN

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



As utilidades necessárias para instalação do sistema são listadas abaixo e foram na medida do possível aproveitadas de ativos existentes tais como gaveta elétrica reserva e trecho existente de nitrogênio de alta pressão.

3.2.1 Utilidades

A – Nitrogênio de alta pressão (28 Bar) com redução para 12 Bar;

B – Energia Elétrica de 440 Vca trifásica do CCM do Alto-forno 3;

C – Montagem de sistema elétrico com transformador de 20 KVA

D – Distribuição para máquina de solda, iluminação, etc.;

E – Tomadas de serviço de 440 Vca com disjuntor para suga-pó;

F – Quadro de disjuntores para a alimentação do painel do PLC.

Foi instalado também um sistema de distribuição elétrica local com transformador, quadro de disjuntores para iluminação e tomadas de serviço para máquina de solda e principalmente caminhão suga-pó para caso de desmonte do injetor para limpeza do sistema.

3.3 Construções Civas em Geral

Para a construção civil do sistema foi feita a sondagem do terreno bem com os cálculos de dimensionamento das fundações para a máxima carga prevista, de acordo com o volume do silo mais vaso e levando em conta o material de maior densidade, ou seja, o Rutilit F85, com cerca de 1,5 t/m³.

Parte do final da linha férrea 6 sob o duto de descarte foi desativada e seu batente férreo descolado para antes do sistema de injeção de titânio. As colunas existentes da linha foram usadas para montagem de um escudo refratário devido a proximidade com o fluxo de gusa da bica basculante. Por cima do escudo refratário, foi construído um escudo de placas metálicas de 19,4 mm para caso de vazamento de ferro gusa na linha férrea 5.

Além disto, foi construído um sistema de escoamento de água pluvial e uma vala em todo o redor do sistema para escoamento em caso de rompimento de tubulação de granulação ou outro grande vazamento de água.

3.4 Silo de Armazenagem

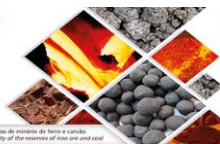
O silo de armazenagem pode ser abastecimento via caminhão pressurizado ou pela ponte rolante existente da sala de corridas norte. Ele é integrado dentro da estrutura suporte comum junto com o vaso de injeção e sistema de dosagem.

A seguir têm-se seus principais dados técnicos:

Capacidade do Silo de Material:	~15	m ³
Diâmetro aproximado:	2.250	mm
Altura cilíndrica:	~5.000	mm
Altura do Cone:	1200	mm
Altura do solo até o topo do silo:	~11.000	mm
Peso total:	~5	t

O silo possui um dispositivo de segurança de sub e sobre pressão ajustável, funil de abastecimento com tela e faca, válvula borboleta de 12" na saída do silo com atuador pneumático, válvula direcional e chaves de fim de curso, além de uma sonda de nível cheio para proteção contra transbordo e outra sonda de nível vazio para reabastecimento do silo de armazenagem.

* *Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*



Outro equipamento importante no topo do silo de armazenagem é o filtro no topo com exaustor que permite uma retenção de materiais com resíduos menores que 20 mg/m³, de acordo com a legislação ambiental. O filtro possui um módulo de controle integrado independente que permite operação automática. A seguir têm-se seus dados técnicos:

Material da carcaça do filtro:	Aço Inox	
Área de superfície do filtro:	Aproximadamente 17 m ²	
Limpeza:	Pulsação de nitrogênio	
Linha de nitrogênio:	½ ", 6 bar	
Peso total:	aproximadamente 87 kg	
Tensão de controle:	24	Vcc
Energia elétrica para o exaustor:	1,1 KW / 460 Vca / 60 Hz / Trifásico	

3.5 Vaso de Injeção

O vaso possui quatro (4) linhas de saídas independentes para injeção com, válvulas de controle e fechamento, sistema de pesagem e estrutura suporte. Esta estrutura é projetada para suportar e apoiar o vaso de 3000 Litros sobre três células de carga. A seguir têm-se seus dados técnicos:

Volume do vaso de injeção:	3.000 L
Máxima pressão de operação:	10 bar g
Máxima temperatura:	-10 - + 120° Celsius
Conexão para N ₂ de alimentação:	2 x 2" / DN 50 polegada/ mm
Pressão da rede de N ₂ de alta:	28 bar g
Vazão do Material:	5 - 25 kg/min (para cada linha)
Pressão de trabalho do vaso:	6 - 8 bar g
Pressão de trabalho (cada injetor):	5 - 7 bar g
Consumo médio durante a injeção:	1 - 3 Nm ³ /min (para cada linha)
Área de instalação no solo:	2,5 x 2,5 m
Altura da estação de injeção:	4,6 m
Peso total aproximado:	1,5 t

Os principais equipamentos do vaso de injeção são:

- 1 – Uma (1) válvula borboleta de abastecimento do vaso DN 200 Com atuador eletro pneumático e com chaves limites de fim-de-curso;
- 2 – Duas (2) válvulas de segurança que abrem em 10 bar g.
- 3 – Transmissor de pressão display LCD para medir a pressão dentro do vaso;
- 4 – Um manômetro Wika tipo diafragma no topo do vaso
- 5 – Sonda de nível alto como proteção contra transbordo. Os valores de nível mínimo e máximo para novo carregamento são feitos pelo sistema de pesagem.
- 6 – Válvula de alívio (Ball Valve da Cera System) DN 50 para despressurização do vaso dentro do silo e armazenagem;
- 7 – Quatro saídas de injeção com Ceramic Ball Valve 1"-1"-1" para controle Da vazão de sólidos mais a válvula manual de manutenção;
- 8 – Cone de fluidização feito em aço inox permeável (longo tempo de vida) para fluidizar toda a região dentro do vaso afim de obter a menor variação de vazão dos sólidos injetados;
- 9 – Sistema de pesagem composto de três (3) células de carga montadas com kits de sinais elétricos de segurança e aterramento com precisão de +/- 0,05% integrada ao painel de controle.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



3.7 Sistemas de Controle, Detecção e Medição de Vazão de Sólidos [6-10]

A medição de vazão de sólidos é baseada em duas fontes de variável de processo que podem ser escolhidas pelo operador através de uma chave seletora descrita a frente no item 4.2. Sua aplicação depende também do material a ser injetado.

1 – Medição por célula de carga – Descrito em detalhes em [1];

2 – Medição por Densflow – Descrito em [7].

O controle da vazão é efetuado através de uma válvula especial gaveta do tipo disco deslizante com todos os internos de cerâmica. Possui um posicionador e transdutor de posição para visualização de funcionamento.

A detecção de vazão é realizada pelos instrumentos Flow Jam cujo princípio de funcionamento é o radar Doppler em microondas e vem sido largamente utilizado na lança dupla de injeção de carvão pulverizado e em substituição ao GranufLOW já obsoletos, conforme ilustrado em [8].

Existe um desenvolvimento inédito que é a autocalibração simultâneo dos equipamentos Densflow para mais de uma linha de injeção, evitando o descontrole da injeção e acúmulo de material no tubo reto e algaraviz o que pode levar a uma explosão do conjunto porta vento e parada de emergência do Alto-forno conforme detalhado em [9].

3.8 Linhas de Transporte Pneumático

As linhas de transporte pneumático são feitas com tubos especiais no diâmetro externo de 1 ¼” no Schedule XXS ou “Extra Strong” para aumentar sua durabilidade devido a abrasão dos materiais sólidos a serem transportados.

As curvas têm o raio alongado de 250 mm para diminuir a perda de carga e revestimento interno em cerâmica (óxido de alumínio) para evitar furos devido à excessiva abrasão dos materiais a serem transportados. Cada Curva possui em sua saída uma extensão reta de 300 mm para eliminar o desgaste numa tubulação normal que é conectada a curva.

Além disto, as linhas foram aterradas eletricamente para garantir a ausência de eletricidade estática o que poderia causar centelhas, choques e explosões.

Outro ponto forte do equipamento Stein são as mangueiras flexíveis de cerâmica especiais para injeção de sólidos. Elas são usadas para isolar o peso do vaso de injeção da linha de transporte além da injeção na sala de corridas propriamente dita. Elas também foram utilizadas em nosso sistema de injeção de carvão pulverizado devido a alta durabilidade. A figura 7 ilustra:

3.9 Sistemas de Purga Individual das Linhas de Injeção

A utilização da detecção de vazão de sólidos pelos Flow Jam S é útil não somente para indicar fluxo, mas também para executar a rotina de purga automática das lanças descrita abaixo, também inédita e de grande resultado prático no dia a dia da injeção de materiais pulverizados no alto-forno.

A Figura 6A, a seguir, ilustra o sistema de purga e limpeza automática das lanças implantada pela Stein a pedido da CSN, resultado da experiência prática abordada em [1]. A Figura 6B mostra por outro ângulo a linha de alimentação geral de N₂, as válvulas eletro pneumáticas de purga, as linhas de transporte pneumático, as curvas de cerâmica e os detectores de fluxo de sólidos logo após a injeção da purga.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

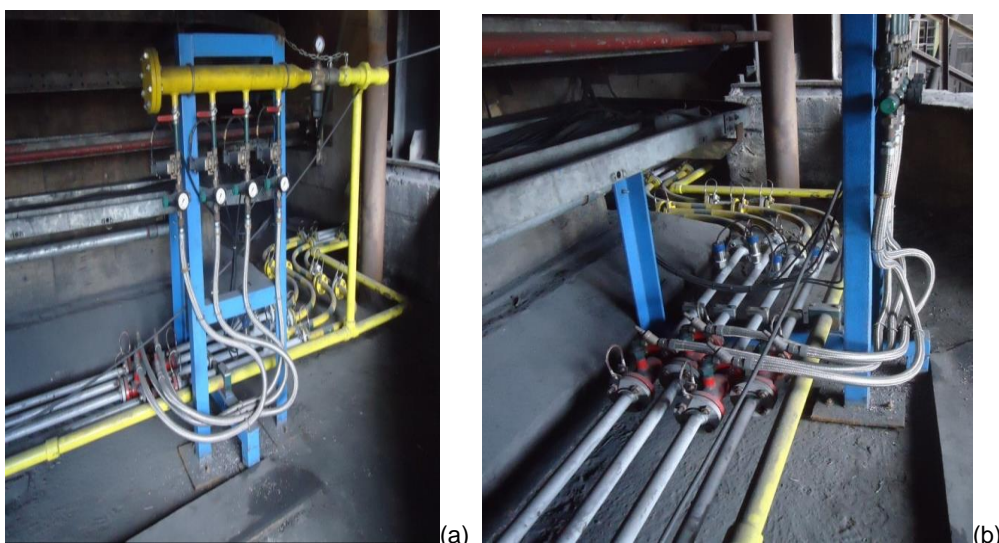


Figura 6. (a) Purga das linhas; (b) Detectores de Fluxo.

3.10 Sistemas de Controle e Instrumentação

O PLC utilizado foi o modelo Contrologix 5000 L71 de última geração do fabricante Rockwell Automation. Em seu bastidor de módulos configurou-se em especial dois cartões dedicados a comunicação Ethernet de alta velocidade (10 Mbits/s), sendo uma para comunicação com o painel local de operação e o outro para a comunicação com o Sistema SCADA existente visando operação remota pela sala de controle do Alto-forno 3.

Os instrumentos utilizados em geral possuem indicação local em display de cristal líquido para visualização local da variável de processo.

O sistema de pesagem é do fabricante Sartorius e possui a precisão de 1 kg numa escala de 0 a 6000 kg.

4 ESTRATÉGIAS E DIAGRAMAS DE CONTROLE

As estratégias de intertravamento e sequenciamento do sistema bem com os diagramas de controle das vazões e processo em geral são um combinado entre os equipamentos e tecnologia da empresa Stein e a experiência da CSN na injeção de carvão pulverizado [1].

4.1 Intertravamento para Habilitar Injeção no Alto-forno

O intertravamento para habilitar injeção no alto-forno foi baseado nos sinais de vazão de sopro mínima para garantir a queima dos sólidos injetados e a pressão diferencial entre a pressão de transporte pneumático e a pressão base do sopro para garantir a injeção, ou seja:

$$\text{Injeção habilitada se: } \left\{ \begin{array}{l} \text{Vazão} > 4000 \text{ M}^3/\text{min} \\ \& \\ (\text{Pressão Transporte} - \text{Pressão de Sopro}) > 0,5 \text{ Bar} \end{array} \right.$$

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



A Figura 7 ilustra a tela principal do painel de controle do sistema de injeção de titânio, onde pode ver os principais equipamentos e a condição de injeção do alto-forno com o sinal de injeção habilitada:

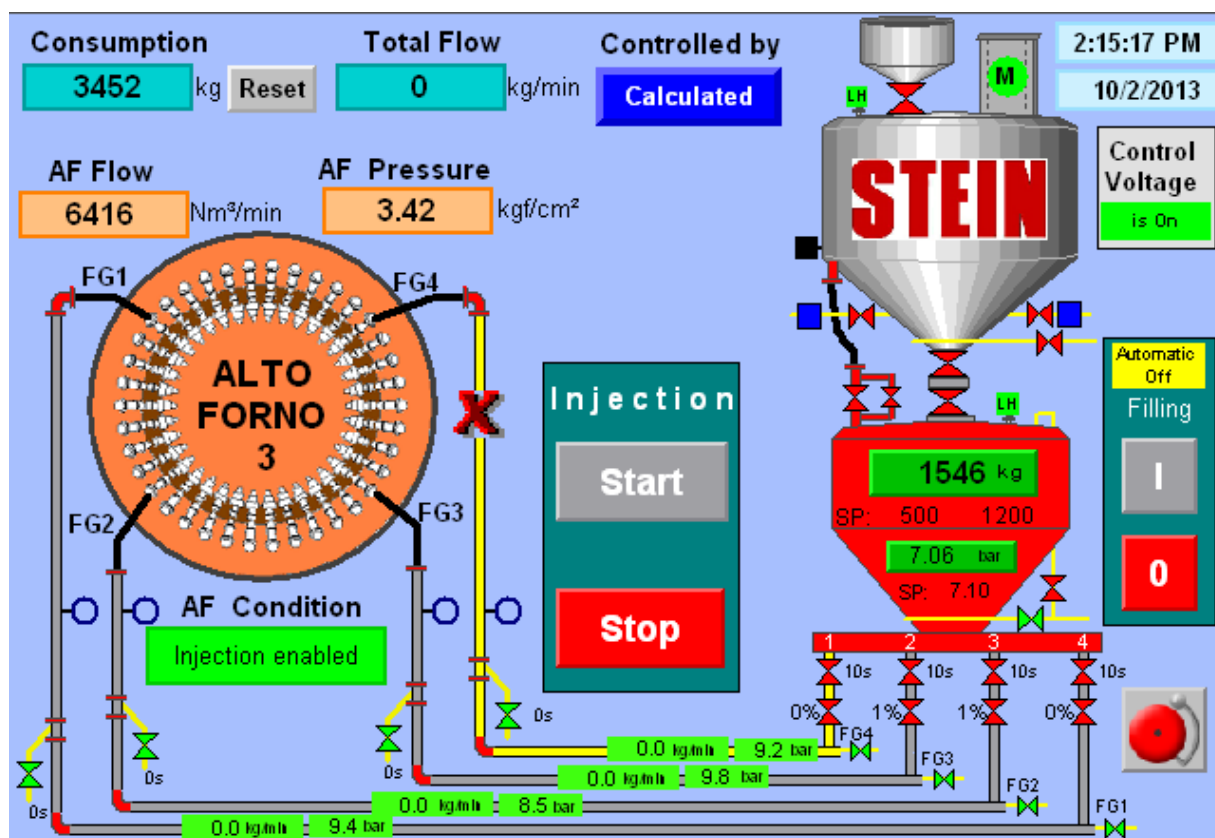


Figura 7 – Painel de Controle do Sistema de Injeção de Titânio

4.2 Chave Seletora para o Controle de Vazão

Na Figura 7 no centro ao alto pode-se ver a chave seletora de software de duas posições onde se pode selecionar a variável de processos da taxa de injeção dos controladores de vazão entre a medição por célula de carga ou controle de vazão pelo instrumento dedicado: Densflow com autocalibração. Trata-se também de um desenvolvimento dedicado e inédito a ser pesquisado e descrito em tese de doutorado na UNIFEI.

4.3 Controles de Vazão Individual ou Multiponto

O sistema de controle pode ser individual ou multiponto, isto é, pode-se injetar de 1 a 4 lanças simultaneamente, onde então o controle por Densflow é utilizado para assegurar a distribuição uniforme de materiais injetados nos algaravizes evitando seu entupimento e o conseqüente risco de explosão tal como relatado em [9].

A Figura 8 ilustra o “Faceplate” dos controladores de vazão das válvulas de dosagem de cerâmica localizadas no cone base do vaso de injeção.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

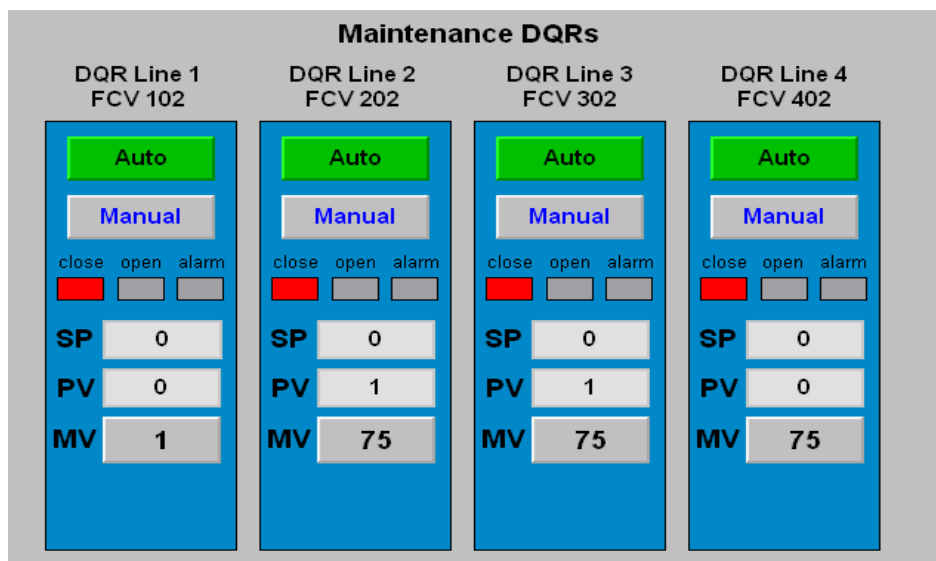


Figura 8 – “Faceplate” dos controladores de vazão de sólidos

4.4 Controles de Operação do Sistema Implantado

O sistema de controle pode ser individual ou multiponto, isto é, pode-se injetar de 1 a 4 lanças simultaneamente, onde então o controle por Densflow é utilizado para assegurar a distribuição uniforme de materiais injetados nos Algaravizes evitando seu entupimento e o conseqüente risco de explosão tal como relatado em [9].

A Figura 9 ilustra a tela com os controles de operação do sistema onde se pode selecionar a operação entre a língua Inglesa e Portuguesa.

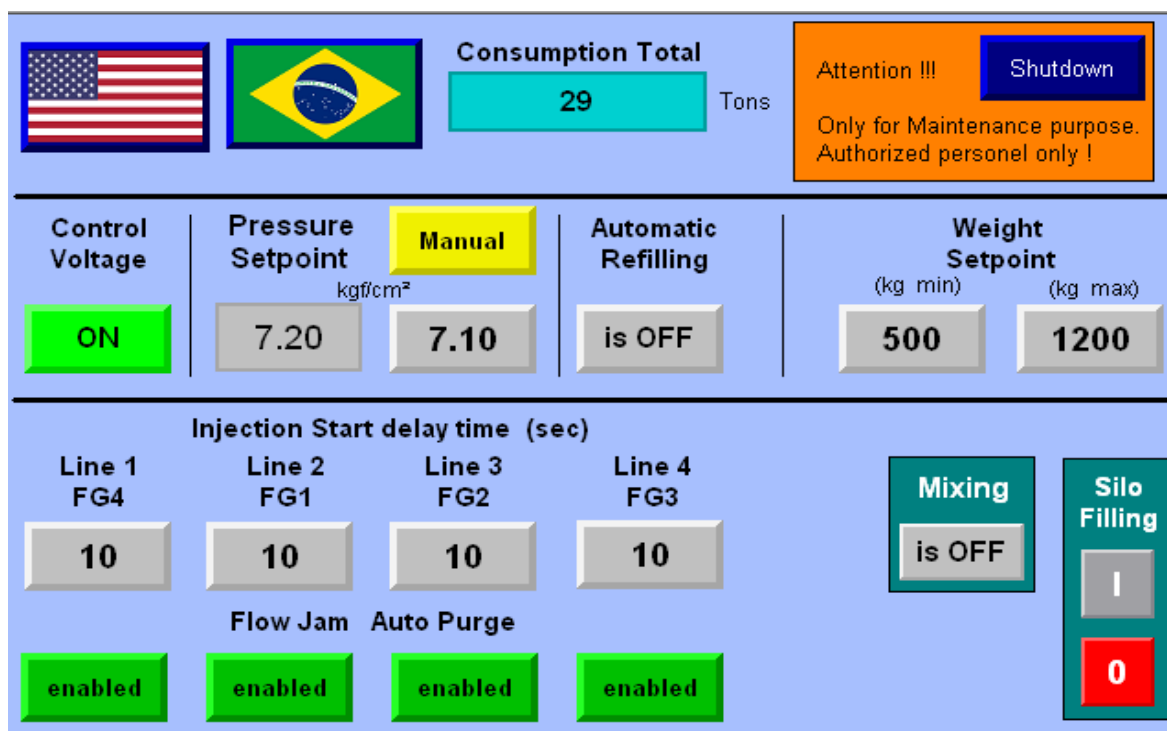


Figura 9 – Controles de Operação do Sistema

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



- A – Consumption Total: Valor acumulado do material injeção ao longo da vida da máquina;
- B – Control Voltage: indicação se o PLC e os instrumentos estão alimentados e as chaves de emergência não estão pressionadas;
- C – Pressure Setpoint: o set-ponit de pressão de injeção do vaso pode ser ajustado entre 5 a 10 Bar de maneira manual ou automática;
- D – Automatic Refilling: Chave seletora para o abastecimento automático do vaso de injeção em caso de peso mínimo fazendo com que o sequenciamento seja cíclico;
- E – Weight Setpoint: Pode-se ajustar o peso mínimo em que o abastecimento será realizado e o peso máximo com que o vaso será abastecido;
- F – Injection Start delay Time: atraso de tempo para a partida do sistema;
- G – Flow Jam Auto Purge: Habilita a purga automática de cada umas das linhas de injeção baseada no sinal do instrumento Flow Jam de detecção de fluxo de sólidos;
- H – Mixing: Liga misturador do silo de abastecimento;
- I – Silo Filling: Abre/fecha a válvula de abastecimento do silo abaixo do funil.

5 PARTIDA E COMISSIONAMENTO DO SISTEMA

5.1 Dificuldades Iniciais Encontradas

As principais dificuldades foram a obstrução dos injetores e o entupimento das linhas de transporte devido a corpos estranhos e de granulometria inadequada, pois o funil de abastecimento possuía somente uma grade de 50 x 50 mm.

Além disto, o funil possuía um diâmetro muito pequeno para descarregar o “bag” de 500 kg. Estes problemas foram solucionados com a implantação de uma peneira malha de 5x5 mm dentro do funil de abastecimento e a extensão de sua aba.

5.2 Materiais Injetados

Os pré-requisitos físicos para injeção de materiais sólidos são:

A - Granulometria = 100% < 2 mm;

B - Umidade < 2%.

Os materiais testados foram no sistema de injeção durante o mês de setembro de 2013 até março de 2014 foram:

A – Ilmenita

A Ilmenita, ou titânio natural, foi o primeiro material a ser testado com sucesso devido sua característica física com umidade e granulometria ideal. É possível injetar com certa facilidade. Esta aplicação é feita nos dias atuais nos Altos Fornos (CSN 3 & Usiminas 3).

B - Rutilit F-85

Algumas empresas no mundo tais como [3] injetam este material via PCI ou em pontos definidos (Hot Spot) ou de forma distribuída pelo PCI – Sistema de Injeção de Carvão Pulverizado. Foram adquiridas 160 t deste produto com previsão de chegada em Abril de 2011.

Depois de armazenada dois anos, quando prensada pela mão aglutina e forma compactações tal como cimento velho que não são destruídas pelo fluxo de gás nitrogênio. Portanto, o superfino úmido (umidade > 6 %) provoca compactação no injetor e entupimento das linhas de transporte impossibilitando sua injeção. A Figura 10 ilustra este problema:

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



Figura 10 – Rutilit F85 com alta umidade

C - Pó de Coletor

O pó coletor tem boas propriedades de transporte pneumático, porém é um material extremamente abrasivo. Para esta injeção, é necessário um maior investimento financeiro (projeto de transporte pneumático do coletor até a máquina de injeção) e lança de injeção especial revestida internamente com cerâmica.

É o único material que sensibilizou o instrumento Densflow tornando o sistema de injeção de titânio promissor para a injeção de pó de coletor de grande abundancia com características físicas próprias e químicas de alto interesse para a reinjeção no alto-forno, fechando a idéia do projeto para uso do sistema de injeção quando não há pontos quentes no cadinho.

D - Plástico granulado

O plástico granulado já é utilizado no Japão e na Europa em larga escala na busca de reduções de aterro sanitário urbanos para lixo doméstico, no consumo de coque, ganhos ambientais e possíveis créditos de carbono.

Para esta aplicação, torna-se necessário fazer a transformação do plástico reciclado em pequenas porções (granulado). Utilizou-se para o teste 250 kg de grão de plástico tipo canela A Figura 11 ilustra a primeira injeção de plástico realizada na CSN no Alto-forno 3:



Figura 11 – Partida da Injeção de Plástico Granulado no Alto-forno 3

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



E – Grafite

O grafite siderúrgico é um material gerado nas estações dessulfuração de gusa. Ele possui características físico-químicas de interesse para injeção no forno.

F - Carvão vegetal

O carvão vegetal de Eucalipto entre outras biomassa tais como o bagaço de cana possui grande oferta na região;

G - Moinha de coque

A moinha de coque é gerada no pátio de matérias primas pelo Britador de Coque e possui alta taxa de substituição de coque quando injetado pelas ventaneiras.

6 RESULTADOS E CONCLUSÕES

O sistema de injeção de titânio está disponível para operação da CSN e apresentou os resultados esperados para uma máquina de injeção de sólidos. A seguir são descritos os resultados obtidos e as conclusões sobre o sistema implantado.

6.1 Resultados Obtidos

Os instrumentos especiais de medição de vazão de sólidos em transporte pneumáticos [7] e detecção de fluxo de sólidos [8] apresentaram comportamento diferente em razão do material transportado e em função dos entupimentos, conforme ilustra a Tabela 1:

Tabela 1 – Comportamento dos instrumentos em função do material

Material	Sucesso de Injeção	Detecção do Flow Jam	Medição do Densflow
Ilmenita	Sim	Sim	Não
Rutilit F85	Não	Não	Não
Plástico	Sim	Sim	Não
Pó de Coletor	Sim	Sim	Sim

Portanto, o correto funcionamento do controle de vazão multiponto depende do funcionamento do aparelho de medição de vazão de sólidos, Densflow que por sua vez depende do material a ser transportado.

Os sistemas de medição de vazão de sólidos funcionaram bem somente para pó de coletor devido à característica ferro-magnético e dielétrica dos materiais transportados e injetados. O controle simultâneo das quatro linhas de injeção só funciona com pó de coletor, ou seja, o controle de vazão independente depende do material.

REFERÊNCIAS

- 1 Motta RSN. Tese de Doutorado pela UNIFEI – Universidade Federal de Engenharia de Itajubá – MG - Automação e Controle do Sistema de Injeção de Carvão Pulverizado em Altos-fornos – Novembro de 2011;
- 2 Assis PS. Injeção de materiais pulverizados em Altos Fornos. ABM - Associação Brasileira de Metalurgia e Metais, Brasil, Out. 1993.
- 3 Hartig W, Amirzadeh D, Funders D. Efeitos econômicos da utilização metalúrgica dos produtos TiO₂ sintéticos para prolongar o tempo de funcionamento de um alto-forno -

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



- 43rd Ironmaking and Raw Materials Seminar, 12h Brazilian Symposium on Iron Ore and 1st Brazilian Symposium on Agglomeration of Iron Ore, September 1st to 4th, 2013, Belo Horizonte, MG, Brazil – ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais
- 4 Stein Industrie Anlagem GMBH pneumatic conveying, dosing and injection - systems. Gevelsberg (Alemanha), August 2009.
 - 5 Velco Industrie Gunbh Pneumatic injection equipment for iron and steel industry. Velbert (Alemanha), December 2010.
 - 6 Motta RSN, Souza LE. Pulverized coal flow detectors for blast furnaces. Metallurgical Plant and Technology International Magazine - ISSN 0935-7254, abr. 2009, 36-42 p.
 - 7 SWR Engineering Messtechnik GMBH. Manuais do Flowjam S e Densflow. Disponível em: www.swr-engineering.com. Acesso em: 10 dez. 2010.
 - 8 Motta RSN, Souza LE, Schmedt R. Enhanced pulverized coal flow measurement. 6th European Coke and Ironmaking Congress (ECIC), 27th June to 1st July 2011, Düsseldorf, Alemanha.
 - 9 Motta RSN, Souza LE, Bortoni E. Hot Blast Flow Measurement in Blast Furnace in Straight Pipe - Modern Instrumentation, 2013, 2, 68-73 - <http://dx.doi.org/10.4236/mi.2013.24010> Published Online October 2013 (<http://www.scirp.org/journal/mi>)
 - 10 Motta RSN, Souza LE, Birk W. Advanced dynamic models for a pulverized coal injection plant. 4th International Conference on Modelling and Simulation of Metallurgical Process in Steel Making (STELL SIM), 27th June to 1st July 2011, Düsseldorf, Alemanha.

* *Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*