



# TECNOLOGIA COJET PARA INJEÇÃO DE OXIGÊNIO EM FEAS – FORNECIMENTO DE GASES E AUMENTO DA PRODUTIVIDADE DOS CLIENTES <sup>1</sup>

Izaías Lucas Marques<sup>2</sup>  
Pedro Athias Zagury<sup>2</sup>

## Resumo

A Praxair é uma das três maiores empresas de gases industriais do mundo, com atuação em mais de 40 países e fortemente atuante na indústria siderúrgica. A Praxair possui experiência para fornecer produtos e serviços para todos os tipos de siderúrgica. Diversas tecnologias desenvolvidas pela Empresa, como o *CoJet*<sup>®</sup> (sistema para injeção de jato coerente de oxigênio em fornos elétricos e conversores), *Slag Splashing* (espalhamento de escória nas paredes de conversores, aumentando a vida útil dos refratários), *AOD* (processo para produção de aços especiais) e outros, encontram-se em operação comercial atualmente em diferentes partes do mundo. No Brasil, a Praxair é a controladora da White Martins, maior empresa de gases industriais da América do Sul, presente em nove países do continente. Seu portfólio inclui gases atmosféricos, produção de gás carbônico, acetileno, hidrogênio, gases especiais e medicinais, misturas para soldagem, cilindros de aço sem costura, equipamentos para aplicação, transporte e armazenamento de gases. A empresa também opera uma unidade para liquefação de gás natural. Além de tecnologias e processos, a White Martins também pode fornecer soluções e equipamentos para medição, controle e injeção de gases, atendendo à rígidas normas de segurança e padrões de qualidade. O presente trabalho tem por objetivo mostrar os benefícios do *Sistema CoJet EAF*, injetores de oxigênio posicionados nas paredes de FEAs (Fornos Elétricos a Arco). No ano de 2009, dois sistemas foram instalados em usinas da América do Sul e os resultados serão discutidos a seguir.

**Palavras-chave:** Forno elétrico a arco; Injeção de oxigênio; Produtividade; Economia de energia.

## COJET TECHNOLOGY FOR OXYGEN INJECTION IN EAFS – INDUSTRIAL GASES SUPPLY AND CUSTOMERS PRODUCTIVITY IMPROVEMENTS

### Abstract

PRAXAIR is one of the largest industrial gases producers of the World, being present in more than 40 countries and strongly connected to the steel industry. PRAXAIR has experience to supply products and services to all kinds of steel mills. Several technologies developed by the Company, such as *CoJet*<sup>®</sup> (a system to coherent oxygen jet injection in EAF and BOF furnaces), *Slag Splashing* (splashing slag to cover BOF furnaces walls increasing refractory wear campaign life), *AOD* (a process for specialty steel production) and others, are currently in commercial operation in different parts of the world. In Brazil, Praxair is the owner of White Martins, the largest industrial gases company in South America, present in nine countries of the continent. Company's portfolio includes atmospheric gases, carbonic gas production, acetylene, hydrogen, specialty and health & care gases, mixtures for welding, gas seamless steel cylinders, applications equipment, and storage and gases transportation. The Company also operates a natural gas liquefaction unit. In addition to technologies and process, Praxair / White Martins can also supply solutions for measurement, control and gases injection, according to strict safety and quality standards. The present work has the objective to show the benefits of the *CoJet EAF System*, oxygen injectors positioned in the furnace walls. In 2009, two systems have been installed in South American mills and the results achieved will be following discussed.

**Key words:** Electric arc furnace; Oxygen injection; Productivity, Energy savings.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 31º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 25º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 17 a 20 de agosto de 2010, Foz do Iguaçu, PR*

<sup>2</sup> *Engenheiro de Aplicações Metal/Siderurgia – White Martins Gases Industriais Ltda.*



## 1 INTRODUÇÃO

O conceito da tecnologia CoJet foi desenvolvido nos Estados Unidos pela Praxair Inc, controladora da White Martins, durante a década de 80. Logo na década de 90, a Praxair tornou-se pioneira no uso dos jatos coerentes destinados a injeção de oxigênio em FEAs (Forno Elétrico a Arco). De maneira rápida a tecnologia CoJet tornou-se consagrada e atualmente, encontra-se em operação comercial em cerca de 120 FEAs localizados em diferentes regiões do mundo. O CoJet tornou-se benchmark na indústria siderúrgica.

A utilização do CoJet proporciona uma série de benefícios, gerando resultados em um curto espaço de tempo. Além da função de injetar oxigênio no FEA, o CoJet também trabalha como queimador, auxiliando na fusão da carga metálica.

Dentre os benefícios gerados pelo CoJet, podemos destacar:

- aumento no uso de energia química em substituição a energia elétrica;
- redução no tempo de power-on e conseqüentemente no tempo de corrida;
- aumento no rendimento metalúrgico;
- operação fácil, automatizada e de fácil manutenção;
- possibilidade de integrar a injeção de carvão a injeção de gases;
- minimização no uso do manipulador de lança e redução dos custos associados a este;
- minimização do tempo de operação com a porta de escória aberta; e
- equipamento automatizado, permite consistência na operação.

## 2 DESCRIÇÃO DA TECNOLOGIA

### 2.1 Conceito do Jato Coerente

O jato coerente de oxigênio é obtido através do uso de uma chama de proteção, envolvendo e protegendo o jato, permitindo que suas características coerentes sejam mantidas por distâncias maiores, de até aproximadamente 70 vezes o diâmetro do tubo utilizado, contra apenas 35 vezes o diâmetro do tubo utilizado em um jato convencional. A Figura 1 mostra um desenho esquemático de um jato convencional e outro coerente.

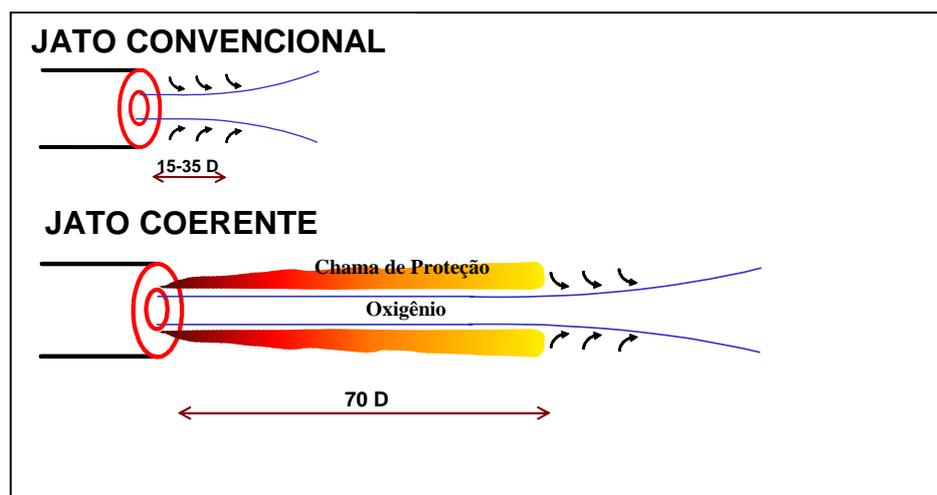


Figura 1. Esquemático do jato convencional e do jato coerente.

Com base neste conceito, foi desenvolvido o Sistema CoJet, onde injetores de oxigênio podem ser posicionados nas paredes do FEA, a uma distância suficientemente grande do banho para permitir ao mesmo tempo uma operação segura e com eficiência da penetração do oxigênio no banho.



Uma lança CoJet é capaz de injetar oxigênio sem significativas perdas de velocidade até distâncias de aproximadamente 1,5 m, conforme mostrado na Figura 2.

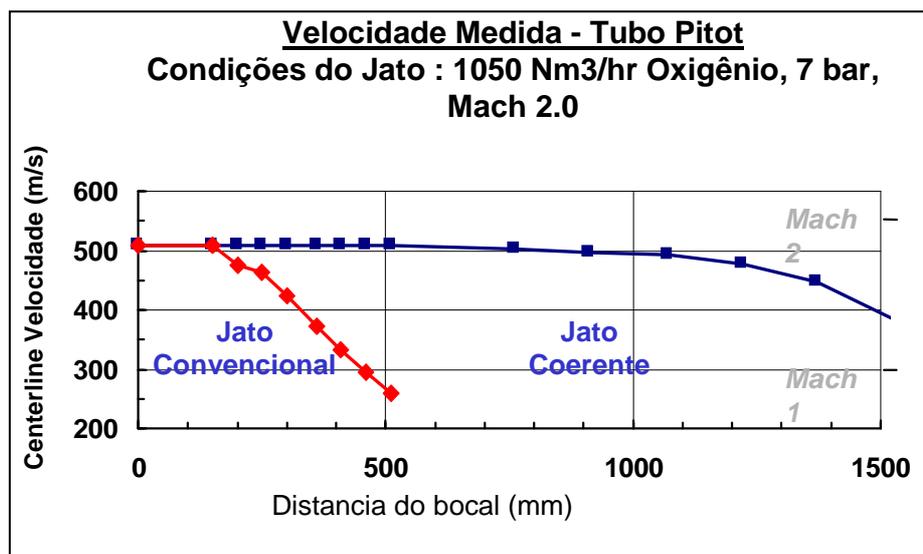


Figura 2. Comparação de um jato convencional com um jato coerente.

## 2.2 Equipamentos Cojet

### 2.2.1 Sistema Cojet

O Sistema CoJet é composto pelos injetores, um rack de válvulas para controle da injeção dos gases através de um PLC (CLP – Controle Lógico Programado), uma estação de supervisão na sala de operação do FEA e máquinas para controle de carvão. A Figura 3 mostra um diagrama de blocos típico de um Sistema CoJet.

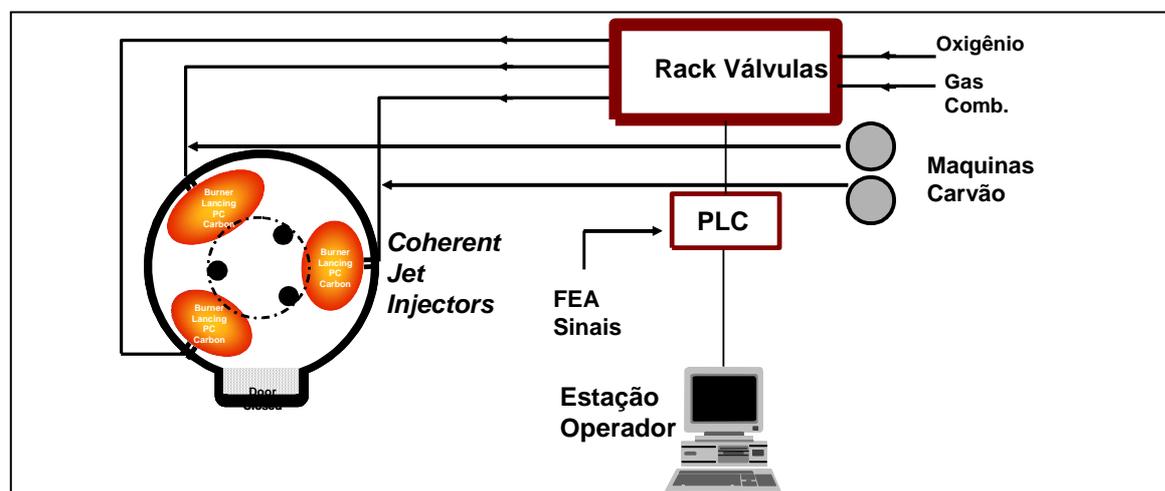


Figura 3. Diagrama de blocos de um Sistema CoJet

### 2.2.2 Lanças Cojet

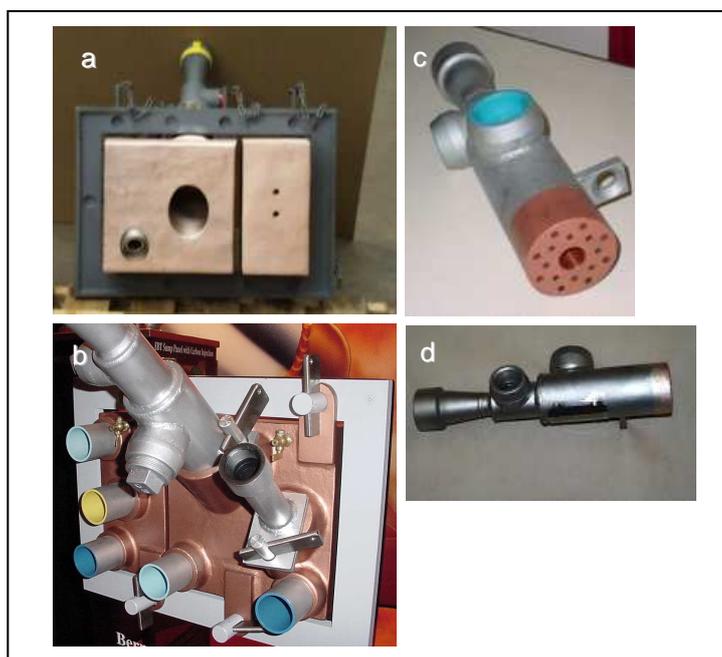
A lança CoJet é construída em aço inox, tem o bico em cobre e possui um Bocal de Laval, onde o gás é comprimido e em seguida expandido para que atinja a velocidade supersônica. A lança não é refrigerada a água e por apresentar um peso reduzido (é possível segurá-la apenas com as mãos), permite fácil substituição sem necessitar uma parada prolongada de produção.



Há três caminhos para passagem dos gases na lança CoJet:

- um orifício central, para passagem do oxigênio principal; e
- dois orifícios secundários, localizados ao redor do orifício central, para passagem do oxigênio e gás natural que formam a chama de proteção do oxigênio principal.

A lança é montada em um bloco de cobre, refrigerado a água e inserido nos painéis do forno, que por sua vez, precisam sofrer pequenas modificações para a instalação dos blocos. No bloco onde a lança CoJet é instalada, também pode ser introduzida a lança para injeção de finos de carvão e, a seu lado, pode ser instalado um outro bloco para instalação de lanças de pós-combustão. Ambos os blocos são envolvidos por uma moldura e fixados no forno através de “grampos”. A Figura 4 mostra os componentes dos injetores CoJet para instalação em paredes de FEAs.



**Figura 4.** Lanças CoJet: (a) vista da parte interna do bloco refrigerado contendo com a lança de oxigênio, lança de carvão e o bloco de pós-combustão ao lado; (b) vista externa do mesmo bloco; (c) lança CoJet com detalhe do bico de cobre; (d) lança CoJet vista lateralmente.

Os injetores operam nos seguintes modos de operação:

- Modo Lança (3 faixas de vazão), usada para corte de sucata e descarburização do banho metálico;
- Modo Queima (3 faixas de vazão), onde o injetor opera como um queimador, auxiliando na fusão da carga metálica;
- Modo Espera (2 faixas de vazão), usado quando o forno está parado, durante intervalos entre carregamentos e corridas, pois os injetores não podem ficar sem fluxo para evitar o tamponamento; e
- Modo Carga (1 faixa de vazão), usado durante o carregamento para evitar que os injetores sejam tamponados.

Normalmente são instalados de 1 a 4 injetores CoJet nos FEAs, preferencialmente entre as fases dos eletrodos, visando a eliminação dos pontos frios no forno. Os injetores CoJet são posicionados avaliando a distância e ângulo em relação ao banho metálico, de maneira a garantir a penetração do jato de oxigênio no banho de maneira eficiente e sem geração de respingos. Há uma família de injetores projetados, com dimensões adequadas às faixas de vazão que serão empregadas



no processo. A Figura 5 mostra um desenho esquemático de um FEA antes e depois da instalação de um Sistema CoJet.

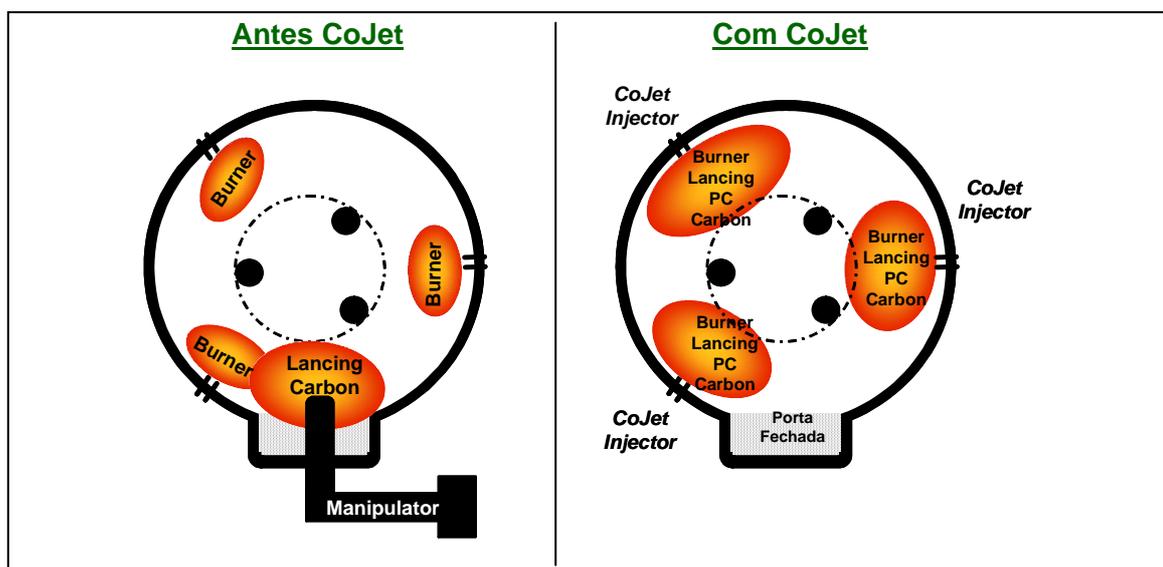


Figura 5. Esquemático de um FEA antes e depois da instalação do CoJet.

### 2.2.3 Rack de válvulas e estação de operação

Para Controle da injeção de gases no FEA através das lanças CoJet, é utilizado um *rack* de válvulas adequadamente projetado para trabalhar com as vazões especificadas. O *rack* de válvulas é composto basicamente por filtros, válvulas de controle e medidores (normalmente do tipo vortex). O *rack*, conforme mostrado na Figura 6, conta com um PLC, que se comunica com os sinais existentes no FEA e dessa forma, controla todo o processo de injeção de gases. O controle possui mecanismos de segurança e intertravamento, além da possibilidade de ser integrado ao controle da injeção de carvão.



Figura 6. Rack de válvulas de um Sistema CoJet.

O Sistema também conta com uma estação de supervisão localizada na sala de operação, permitindo que os operadores utilizem o CoJet de maneira bastante amigável. O Sistema CoJet conta com uma tela principal (Figura 7), onde é possível verificar os set-points de operação, valores medidos das vazões dos gases e os

sinais recebidos do forno, como por exemplo, a energia elétrica acumulada. O Sistema também contempla telas do rack de válvulas (Figura 8), da injeção de carvão (Figura 9), alarmes e registro do histórico de corridas (inclui todos os tempos e consumos).

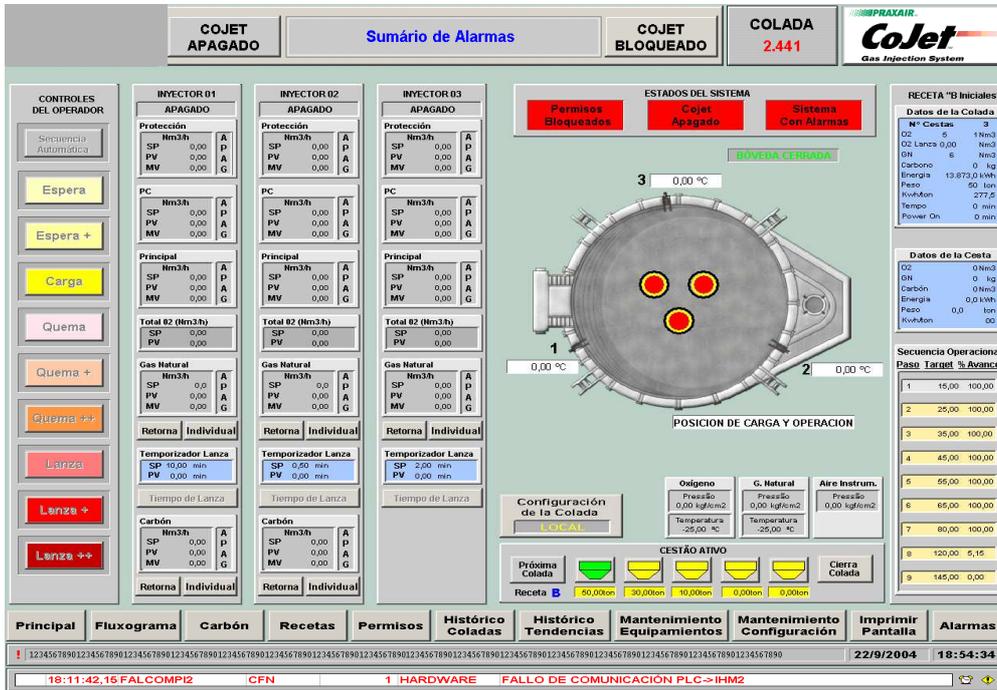


Figura 7. Tela principal do supervisor no Sistema Cojet

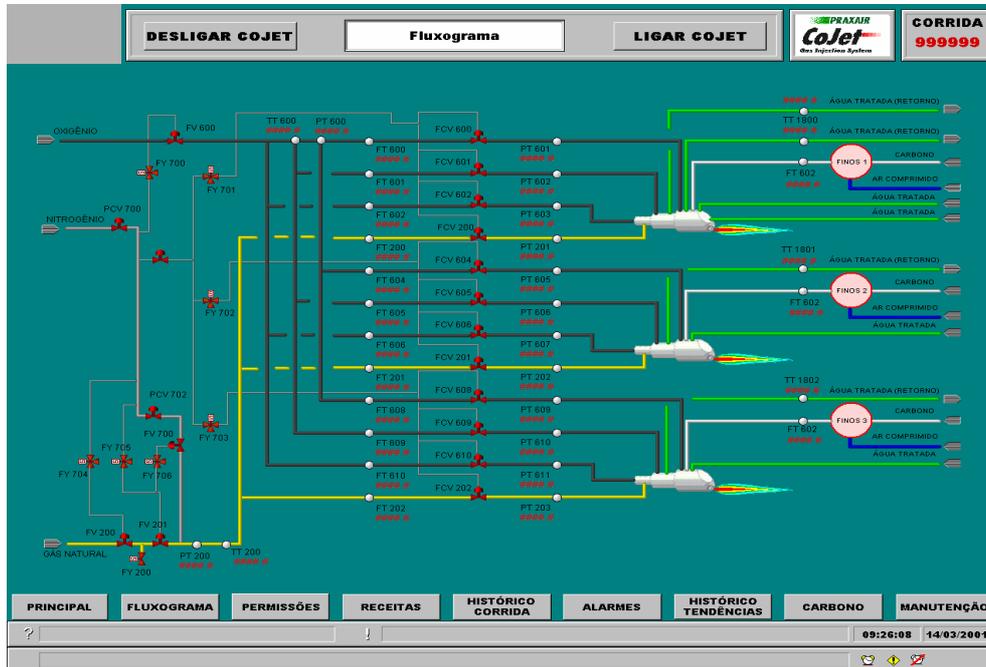


Figura 8. Tela do rack de válvulas do supervisor no Sistema Cojet

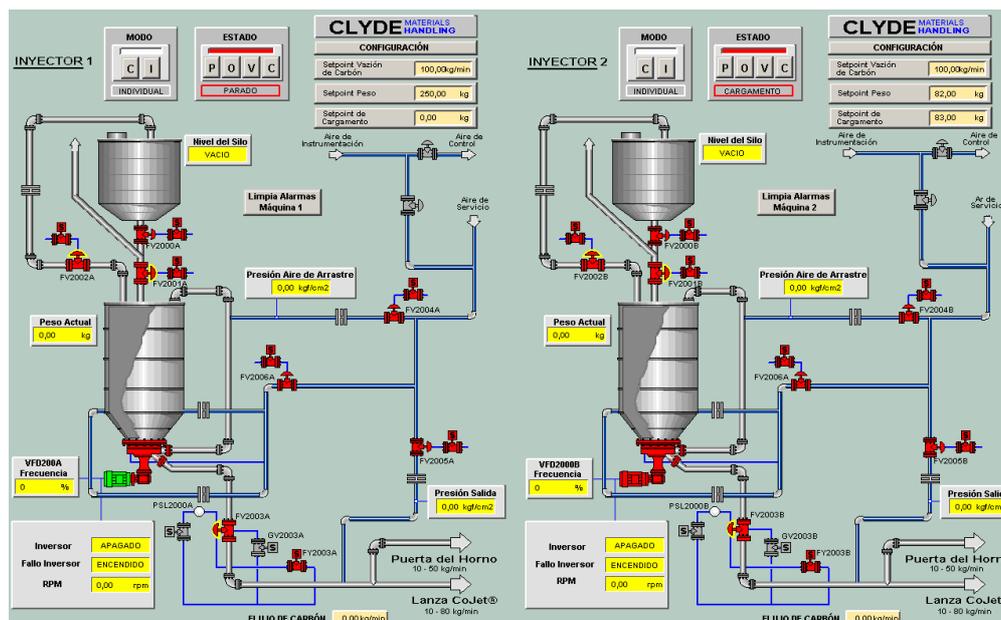


Figura 9. Tela de injeção de carvão do supervisor no Sistema CoJet

### 2.2.4 Máquina de carvão

O Sistema Cojet também tem a opção de ser instalado junto do Sistema para Injeção de Carvão. Dessa forma, todas as receitas de sopro podem ser elaboradas considerando a injeção de carvão, gerando benefícios ligados ao controle do processo. O carvão é armazenado em silos (Figura 10) e transportado até as máquinas de injeção (Figura 11), onde uma válvula rotativa controla a vazão de carvão a ser injetada. Os equipamentos para injeção de carvão do Sistema CoJet são fornecidos pela Clyde Materials Handling. Entretanto, caso o FEA já possua outro sistema para injeção de carvão, também pode ser integrado com o Sistema CoJet.

Para garantir um bom controle da injeção de carvão, é recomendado que haja um controle de injeção para cada ponto. Por exmplo, havendo dois pontos de injeção de carvão, devem ser instalados duas máquinas de injeção de carvão.



Figura 10. Silos de carvão



Figura 11. Máquinas de injeção de carvão

### 3 RESULTADOS

No primeiro CoJet implantado em 2009, após realização dos testes a frio e do comissionamento, foram realizados 12 dias de operação assistida e efetuados ajustes no processo, de maneira a atingir os índices pré-estabelecidos na proposta, conforme mostrado a seguir na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados neste Cliente

Parâmetros	Base	Prometido	Média	Variação
Tempo de Power On (min)	36,8	= < 33,3	32,67	4,13
Rendimento Metalúrgico	84,60%	> = 84,9%	86%	+1,1%
Energia Específica (kWh/t)	417,3	= < 380	329,33	87,97
Consumo de Electrodo (kg/t)	1,77	= < 1,75	1,66	0,11
Consumo de O <sub>2</sub> (Nm <sup>3</sup> /t)	38	44	43	5
Consumo de Combustível (Nm <sup>3</sup> /t)	-	6,5	7	7

Este cliente opera um EAF de 69 t de capacidade de carga metálica. Atualmente, a carga metálica usada é apenas sucata e são carregados três cestões por corrida e há fragmentadora de sucata.

Foram instalados três injetores CoJet, entre as fases dos eletrodos, com inclinação de 45° em relação ao banho metálico a distâncias entre 700 mm e 900 mm. Os injetores permitem sopros de oxigênio para descarburização e corte de sucata em vazões até 2.500 Nm<sup>3</sup>/h, podendo operar também em modo queimador, com potência máxima de 5 MW, ou seja, 500 Nm<sup>3</sup>/h de gás natural.

Um dos injetores foi posicionado próximo a porta de escória, outro próximo ao quarto furo e um terceiro no EBT. Todos os injetores foram montados nos blocos de cobre refrigerados a água, especificamente projetados para injetores CoJet. Cada bloco também conta com uma lança para injeção de finos de carvão, ou seja, foram instalados três pontos para injeção de carvão, além da injeção existente através do manipulador.

Os equipamentos foram projetados para trabalhar usando o gás natural como combustível. Entretanto, como este combustível encontrava-se indisponível, estava sendo usada uma mistura entre ar e propano, visando manter o mesmo índice de Wobbe do gás natural, mantendo as características de chama. Essa mistura,



conhecida como ar-propanado, era fornecida por um misturador operado pela central de utilidades do cliente. Foi necessário recalibrar os vortex, usados para medição das vazões, devido a diferença na densidade entre o ar-propanado e gás natural.

A White Martins não instalou seu sistema de injeção de carvão e foi utilizado o existente. Ao todo, eram duas máquinas de carvão para injetar os finos em quatro pontos distintos: em três blocos CoJet e no manipulador.

O suprimento de utilidades requerido para operação do CoJet foi de oxigênio a 12 bar de pressão na entrada do skid com vazão média de 2.800 Nm<sup>3</sup>/h e picos de 10.600 Nm<sup>3</sup>/h, gás natural a 3 bar de pressão na entrada do skid com vazão média de 480 Nm<sup>3</sup>/h e picos de 1.600 Nm<sup>3</sup>/h, água de refrigeração na vazão de 22,5 m<sup>3</sup>/h e pressão diferencial de 3 bar em cada injetor, além de ar de instrumentação a 6 bar de pressão para operação de válvulas e instrumentos.

Na segundo CoJet implantado em 2009, inicialmente, foi realizado o start-up operando apenas no modo queimador. Alguns meses depois, foi instalada a máquina de carvão e o CoJet passou a operar com todas as suas funções. Para isso, foi necessária a integração dos controles da máquina de carvão com o sistema CoJet. Anteriormente a cliente fazia injeção de carvão manualmente e através dos cestões. O sistema instalado foi fornecido pela Clyde de acordo com as especificações da White Martins.

O cliente opera um forno sem EBT de 35 toneladas de carga metálica. O cliente também possui fragmentadora de sucata, recentemente instalada. Entretanto, a fragmentadora não estava operante durante a maior parte do tempo na realização do start-up.

Diversos investimentos em melhorias vêm sendo realizadas na aciaria do cliente e a instalação do CoJet faz parte destes. Um grande trabalho está sendo feito para padronizar todos os procedimentos durante as corridas, aumentando a consistência, melhorando o controle do processo e atingindo uma maior repetibilidade de resultados. As corridas são realizadas com um número de carregamentos variando entre 3 e 6 cestões. O forno utiliza lanças manuais de oxigênio para corte de sucata na porta de escória.

Ao todo, foram instalados dois injetores Cojet, cada um com capacidade para injetar até 1.750 Nm<sup>3</sup>/h de oxigênio e operar como queimador em potências até 3 MW, ou seja, 300 Nm<sup>3</sup>/h de gás natural. Os injetores foram montados em ângulos de aproximadamente 45° em relação ao banho metálico e distâncias entre 700 mm e 1.200 mm do banho. Foi desenhado um bloco refrigerado específico para este forno. Devido a limitações físicas, o bloco próximo ao quarto furo não foi posicionado exatamente entre as fases do eletrodo. Por esse motivo, o bloco tinha uma inclinação no eixo horizontal para desviar o jato de oxigênio de um dos eletrodos, evitando danos.

O suprimento de utilidades requerido para o CoJet foi de oxigênio a 12 bar e com vazão máxima de 3.000 Nm<sup>3</sup>/h, gás natural a 3 bar de pressão e vazão máxima de 600 Nm<sup>3</sup>/h, água de refrigeração para os blocos a 4 bar e 10 m<sup>3</sup>/h por injetor, além de ar de instrumentação a 7 bar para operação de válvulas e instrumentos.

Alguns ganhos, como redução no tempo de *power-on* de até 6 minutos e no consumo de energia elétrica de até 45 kWh/t puderam ser observados. Entretanto, algumas melhorias no forno que estão em andamento, poderão garantir um padrão de operação ainda maior. Os resultados do CoJet serão repetidos com maior frequência.



## 4 DISCUSSÃO

A Praxair / White Martins detém uma vasta experiência na instalação e implantação da tecnologia CoJet em fornos das mais variadas especificações. O CoJet já foi implantado em fornos com capacidades variando entre 30 t e 250 t de aço líquido, fornos que operam em um range de 100% de DRI a 100% de sucata, ou até mesmo com gusa líquido. Diferentes práticas também já foram implantadas: instalação de 1 a 4 injetores, vazões de lança entre 1.000 Nm<sup>3</sup>/h a 4.200 Nm<sup>3</sup>/h, em cada injetor, 3 MW a 6 MW de energia fornecida em modo queimador, além de consumos de oxigênio entre 13 Nm<sup>3</sup>/t e 60 Nm<sup>3</sup>/t.

O CoJet é capaz de minimizar, ou até mesmo eliminar, a necessidade de usar lanças ou manipulador para sopro de oxigênio através da porta de escória. Este fato, além de representar uma eficiência energética para o forno, diminuindo a insulflação de ar, constitui um importante benefício a segurança operacional.

## 5 CONCLUSÃO

O CoJet encontra-se em operação comercial em aproximadamente 120 EAFs em diferentes regiões do mundo. É uma tecnologia consolidada e pode ser considerada um bench-marking nas aciarias elétricas. Além de alavancar as vendas de gás e equipamentos da Praxair / White Martins, o CoJet contribui para melhorias operacionais nos clientes e gerando ganhos nos resultados. O CoJet pode ser considerado um diferencial da Praxair / White Martins capaz de agregar valor a venda de gás.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 Jones, J.A.T., Bowman, B., Lefrank P.A., Electric Furnace Steel Making – Steelmaking and Refining Volume. The AISI Steel Foundation, Pittsburgh, PA, 1998.