



# DEFEITO NO SOPRADOR E OPERAÇÃO EMERGENCIAL DO ALTO-FORNO “A” UTILIZANDO AR COMPRIMIDO<sup>1</sup>

*Fabiano Harley Araújo<sup>2</sup>*

*Ailton José de Freitas<sup>3</sup>*

*Rui Carlos Malta Magalhães<sup>3</sup>*

*Thales Ornelas Iglesias<sup>3</sup>*

*Vicente Aleixo Pinheiro Ribeiro<sup>2</sup>*

*Wander de Oliveira Borges<sup>4</sup>*

## Resumo

O soprador é o equipamento responsável pelo suprimento contínuo de ar, sendo fundamental para o processo de produção de gusa no alto-forno. Como o Alto-forno A da ArcelorMittal Monlevade possui apenas um soprador, uma parada acidental deste equipamento compromete toda a produção da usina. Em junho de 2008, ocorreu um grave defeito no soprador do Alto-forno A; as perspectivas eram de parada total da produção por uma semana ou mais, além das potenciais conseqüências para o processo do alto-forno, tais como o esfriamento do cadinho. Este trabalho apresenta o grave defeito ocorrido no soprador e ações adotadas, a idéia inovadora que permitiu a operação emergencial do alto-forno com ar comprimido e as condições operacionais do alto-forno nesta situação.

**Palavras-chave:** Soprador; Ar comprimido; Alto-forno.

## BLOWER ACCIDENTAL SHUTDOWN AND BLAST FURNACE “A” EMERGENCY OPERATION USING COMPRESSED AIR

### Abstract

The blower is the equipment that supplies air continuously to the blast furnace and has an essential role in the Ironmaking process. Blast furnace A at ArcelorMittal Monlevade has just one blower; an accidental failure of this blower has serious effects in the whole plant production. In June 2008 occurred a severe damage in the BF-A blower and the first evaluation was that the plant would be stopped for at least one week. Beside this there were some potential consequences for the blast furnace itself, e.g. the possibility of a chilled heart. This paper shows the main aspects related to the damage and repair of the blower, as well as the breakthrough that allowed operating the furnace without the equipment.

**Keywords:** blower, compressed air, blast furnace.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 40º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 11º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 19 a 22 de setembro de 2010, Belo Horizonte, MG.

<sup>2</sup> Colaborador da Gerência Engenharia de Manutenção Utilidade e Meio Ambiente da ArcelorMittal Monlevade.

<sup>3</sup> Colaborador da Gerência de Área de Manutenção da Redução da ArcelorMittal Monlevade.

<sup>4</sup> Colaborador da Gerência de Redução da ArcelorMittal Monlevade.

## 1 INTRODUÇÃO

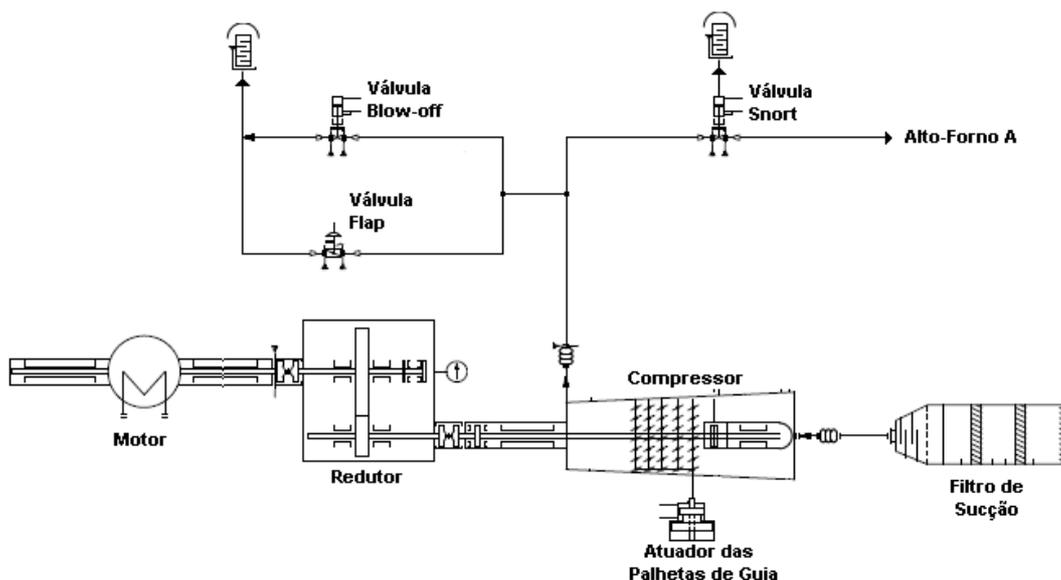
Um dos equipamentos mais críticos que compõe o processo do alto-forno é o soprador. Sua função é suprir o ar necessário para o processo de produção de gusa. Esse ar é aquecido através dos regeneradores, conduzido para o alto-forno e injetado através das ventaneiras a uma temperatura controlada em torno de 1.080°C para a combustão do coque, iniciando o processo de redução.

As principais características do soprador do Alto-forno A da ArcelorMittal Monlevade estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Principais características do soprador do Alto-forno A

Motor		Compressor	
Fabricante	Siemens	Fabricante	Man Turbo
Tipo	Síncrono sem escovas	Tipo	Axial
Potência (kW)	11.000	Vazão máxima (Nm <sup>3</sup> /h)	140.000
Tensão estator / rotor (V)	13.800 / 73	Pressão máxima (Bar)	3,75
Corrente estator / rotor (A)	522 / 593	Pressão máxima em operação (Bar)	3,10

O compressor é acionado pelo motor elétrico acoplado a um redutor multiplicador. O ajuste de vazão de ar é realizado automaticamente através de um atuador eletrohidráulico que controla a posição das palhetas móveis (palhetas de guia) localizadas nos cinco primeiros estágios do estator do compressor. Os últimos seis estágios são fixos. Na saída do compressor há um rotor centrífugo para garantir a intensificação da pressão de saída (recalque). Na tubulação de saída existem três válvulas de alívio. As válvulas *Blow-off* e *Flap* são dispositivos anti-surto utilizados para proteção da máquina. A válvula *Snort* normalmente é utilizada para o controle de vazão durante o reinício de marcha e parada do processo. A Figura 1 apresenta o diagrama esquemático do soprador.



**Figura 1** – Diagrama esquemático do soprador do Alto-Forno A.

Como a ArcelorMittal Monlevade possui apenas um alto-forno com um soprador, uma parada imprevista desse equipamento compromete toda a produção da usina.

Este trabalho apresenta um grave defeito ocorrido no soprador e as ações adotadas para a mitigação e solução do problema. Destaca-se a idéia inovadora de uso de ar comprimido que, aliado aos procedimentos de controle do processo, evitou conseqüências maiores devido à parada do alto-forno sem a preparação adequada da carga e ainda permitiu a continuidade da produção.

## 2 PARADA DO SOPRADOR

### 2.1 Situação Antes da Anomalia

O soprador entrou em operação em 19 de dezembro de 1999 tendo uma expectativa de vida útil sem intervenção de quatro anos e seis meses (40.000 horas). As inspeções que são realizadas, incluindo inspeção pelo fornecedor, indicavam que os parâmetros de operação e controle da máquina apresentavam valores dentro do estabelecido com grande performance, ou seja, itens de controle acima da expectativa em relação ao tempo de trabalho da máquina.

O fornecedor do soprador indica que após as 40.000 horas de operação, seja realizada uma revisão que inclui a abertura da máquina. Para este procedimento são necessários de cinco a oito dias de parada. Por motivo gerencial e considerando os bons resultados das inspeções realizadas, a intervenção para revisão que deveria ter sido realizada em 2004 foi adiada. Decidiu-se que a revisão seria realizada após o compra do soprador para o futuro Alto-forno B, que seria utilizado no Alto-forno A durante o período de revisão, evitando perdas de produção.

De 16 a 19 de junho de 2008 houve uma parada programada do alto-forno. Ao religar a máquina a mesma partiu e, após o fechamento da válvula de alívio *Blow-off*, a vazão mínima observada (com as palhetas de guia totalmente fechadas) foi de 100.000 Nm<sup>3</sup>/h sendo que historicamente este valor variava entre 75.000 a 85.000 Nm<sup>3</sup>/h; indicando um possível problema.

### 2.2 Descrição da Anomalia

No dia 22 de junho de 2008 ocorreu uma queda acidental de tensão no sistema de alimentação elétrica que provocou uma parada da usina, incluindo o soprador. Devido a suspeita de problemas nos sistema de acionamento das palhetas de guia em função do problema de vazão mínima muito alta observada após a parada programada de 19 de junho de 2008, decidiu-se testar a movimentação das palhetas através do comando local. Foi acionado o comando manual de posicionamento das palhetas para a posição de 100% com o objetivo de verificar a movimentação. Após a confirmação da abertura foi dado o comando para fechamento das palhetas, percebeu-se que não mais fechavam, permanecendo travadas da posição aberta entre 90 e 100%; não permitindo a partida do soprador. Constatou-se que houve um travamento do dispositivo após as várias tentativas de abertura e fechamento via comando local; percebendo que a tendência era de aumento do ângulo de abertura do cilindro. Essa condição não permitia a partida do soprador.

## 2.3 Ações Imediatas

Após a constatação de travamento do sistema de acionamento das palhetas de guia, as seguintes ações foram tomadas:

- consignação da máquina para manutenção;
- requisitado e substituído o atuador hidráulico;
- após a substituição, nova tentativa de destravamento do dispositivo através de comando manual do sistema hidráulico. O novo atuador também travou;
- retirado o atuador e encaminhado para avaliação do ocorrido e recuperação em oficina externa. Constatado que em caso de travamento do estator, o cilindro hidráulico está projetado para não exercer uma força excessiva suficiente para danificar as palhetas. Ocorre apenas o deslocamento do êmbolo na haste do cilindro sem forçá-lo;
- abertura da janela de entrada da tubulação de sucção para inspeção nas palhetas do estator e confirmado que as primeiras palhetas estavam realmente abertas;
- definido que a abertura da máquina seria realizada somente com a presença de especialistas;
- solicitada a assistência técnica do fabricante da máquina (Man Turbo do Brasil e Alemanha) e ArcelorMittal Tubarão; e
- constatado a necessidade de desmontagem do conjunto estator e rotor do equipamento, objetivando identificação da causa fundamental e restabelecimento das condições de funcionamento.

## 2.4 Ações Corretivas e Dificuldades Encontradas

As seguintes ações foram realizadas para identificação e solução do problema:

- aberta a carcaça superior com a presença do especialista;
- impossibilidade de desmontagem do estator devido seu travamento fora da posição inicial de controle;
- tentativa de posicionamento do estator através de talhas catracas colocadas no eixo fixo do estator. Observado a quebra de dois parafusos de fixação da haste no estator;
- observado que os braços das palhetas estavam em um ângulo não favorável ao braço de alavanca (posição de giro do estator), o que dificulta o acionamento para a posição de abertura mínima das palhetas (condição para desmontagem);
- tentativa de movimentação do estator através de macaco hidráulico sem êxito;
- tentativa de movimentação do estator através de dispositivo tipo chave de torque, sem êxito;
- decidido retirar conjunto eixo rotor e estator;
- fabricado dispositivo para a retirada do eixo rotor e estator;
- retirado eixo rotor estator cuidando-se para manter o ponto de equilíbrio (centro de gravidade);
- desmontado estator móvel e fixo;
- observado e identificado algumas palhetas travadas;
- observado desgaste no anel externo destinado à fixação dos estatores fixo e móvel;



- solicitado serviço da empresa especializada em manutenção de compressores Turbo Teck para desmontagem e montagem da máquina;
- desmontado eixo rotor;
- decidido montar conjunto eixo rotor e estator novo;
- montado estator inferior novo;
- montado eixo rotor novo;
- montado estator superior e apertado;
- retirado estator superior e eixo rotor para ajuste e controle de folgas;
- montado definitivamente o eixo rotor e estator;
- ajustada o posicionamento das palhetas do estator de acordo com a movimentação do cilindro hidráulico. Ajustado os sensores de fim de curso de acordo com o manual do equipamento;
- ajustada a haste no cilindro hidráulico e feito travamento da contra porca (bloqueio da causa fundamental);
- montado a tampa superior do compressor;
- feito alinhamento do conjunto;
- realizado uma revisão geral do sistema elétrico da máquina juntamente com assistência técnica da Siemens, constatado que o motor está em perfeitas condições,
- desconsignado para teste;
- feito acompanhamento dos testes utilizando o *check list*;
- liberado para operação às 20:05 h no dia 29 de junho de 2008.
- enviado o rotor e estator substituídos para revisão e balanceamento junto ao fornecedor (Man Turbo Alemanha); E
- programada a revisão completa da máquina incluindo nova abertura após 40.000 horas em serviço (próxima revisão prevista para dezembro de 2012).

## 2.5 Identificação da Causa Fundamental

A abertura da máquina, durante a execução das ações corretivas, possibilitou a identificação da causa fundamental. O acionamento das palhetas de guia é realizado através de um cilindro hidráulico. Este cilindro é acoplado às palhetas de guia móveis do estator do compressor através de uma haste. A tampa de inspeção da haste do cilindro hidráulico foi aberta. Observou-se que a haste estava alongada em aproximadamente 50 mm com relação ao comprimento adequado. A Figura 2 ilustra o alongamento da haste.

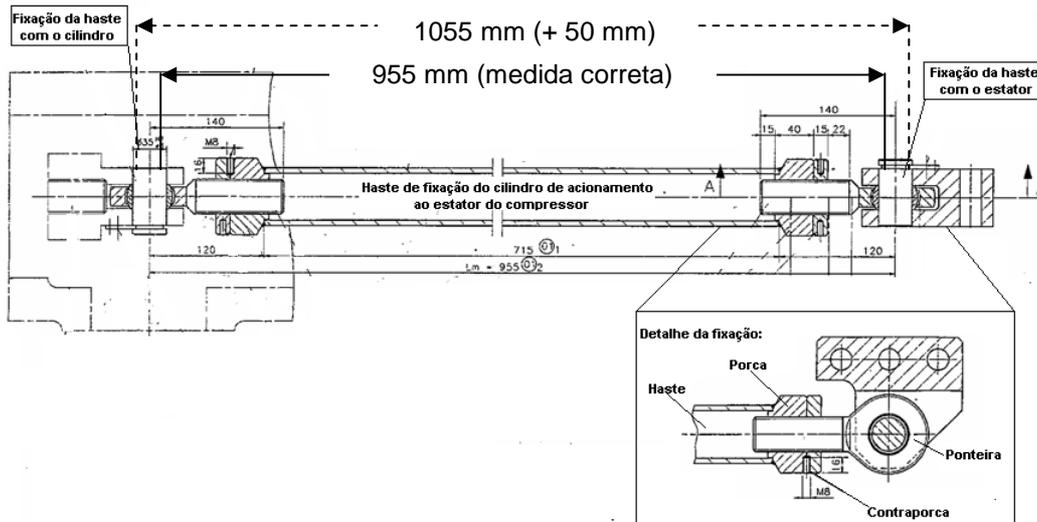


Figura 2 – Haste de fixação do cilindro de acionamento com o estator (alongamento de 50 mm) .

Foi encontrada falta de torque nas contra porcas em ambas as extremidades da haste causando desenroscamento das ponteiras e seu alongamento, conseqüentemente. Correlacionando esse fato com a elevação gradativa da vazão mínima do soprador, pode-se constatar que esse problema foi agravando-se ao longo dos anos motivado pelas vibrações naturais durante o funcionamento da máquina. A haste uma vez alongada em seu comprimento, sendo comandada pelo cilindro para assumir a posição máxima de abertura, ultrapassou a região admissível de trabalho das palhetas, vindo estas a assumirem um ângulo desfavorável à ação da força de retorno. Esta foi a causa fundamental, associada com outras causas contributivas como a tendência ao agarramento de algumas palhetas, pelo ressecamento da graxa no eixo.

## 2.6 Bloqueio da Causa Fundamental

Juntamente com o procedimento de ajuste da haste do cilindro, as seguintes ações foram tomadas objetivando o bloqueio da causa fundamental:

- travamento da contra porca da haste, lado estator, com trava química e anel elástico permitindo a regulação do comprimento da haste somente lado do cilindro.

A Figura 3 mostra a perfuração da contra porca utilizando uma furadeira e na seqüência, a introdução do anel elástico.

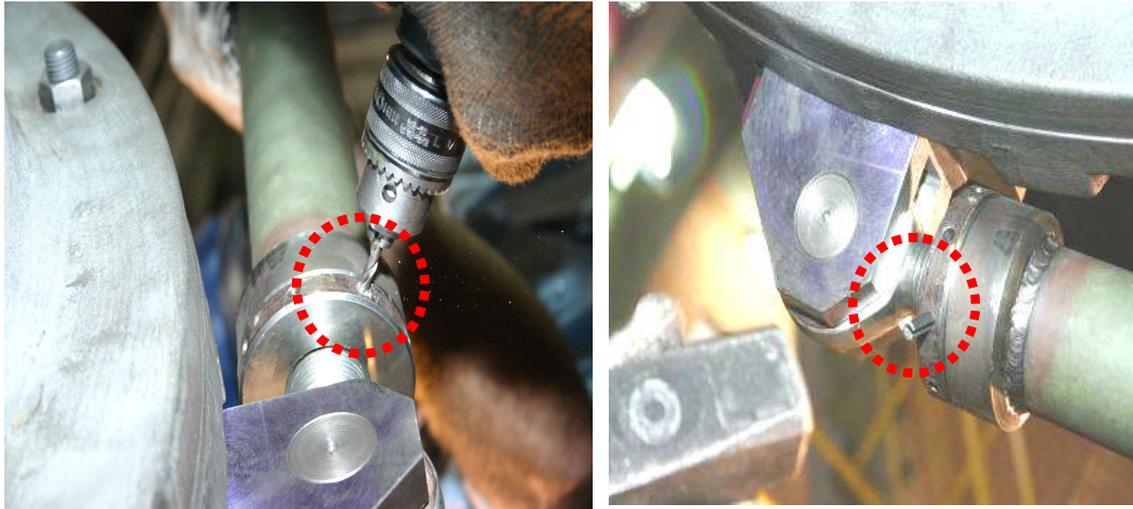


Figura 3 – Travamento da contra porca da haste.

## 2.7 Resultados Indesejados Provocados pela Anomalia

Os principais efeitos causados pelo defeito no soprador foram a parada acidental do processo produtivo durante 182 horas, com perda de produção de 16.207 t de aço líquido e risco de resfriamento do cadinho. Estes efeitos foram minimizados com a utilização de ar comprimido em substituição do soprador que permitiu, além da integridade do alto-forno, um ganho de produção

## 3 A UTILIZAÇÃO DE AR COMPRIMIDO

Ocorrido o defeito no soprador, as perspectivas eram de parada total da produção de todas as áreas da usina de João Monlevade por uma semana ou mais. Como o alto-forno parou sem preparação adequada de carga para longos períodos sem sopro, havia o alto risco de se perder a comunicação entre as ventaneiras e o cadinho (*chilled heart*) com suas graves conseqüências.

Altas perdas de produção, elevados custos operacionais e aumento de consumo de combustíveis em diversos processos eram esperados por tempo indeterminado, até que se conseguisse a normalização da marcha e da produção do alto-forno. Como apresentado, foram concentrados todos os esforços em reparar o soprador.

Sem alternativas exequíveis até então, houve a idéia e o plano inovador de fornecer ar comprimido para o processo do alto-forno devido à indisponibilidade do soprador. A solução construída permitiu a operação parcial do alto-forno, da usina, e em especial, evitou o resfriamento do cadinho.

### 3.1 O Desenvolvimento da Idéia

A idéia desenvolvida foi construir uma conexão entre a rede de ar soprado e a rede de 14" de ar comprimido. Criar condições de manobras, reativar a tubulação e alinhar todos os compressores possíveis e disponíveis de forma a suprir o alto-forno com ar comprimido; sabendo-se das seguintes condições:

- a usina possui cinco compressores de ar com a capacidade total de 50.000 Nm<sup>3</sup>/h e 6 bar de pressão;

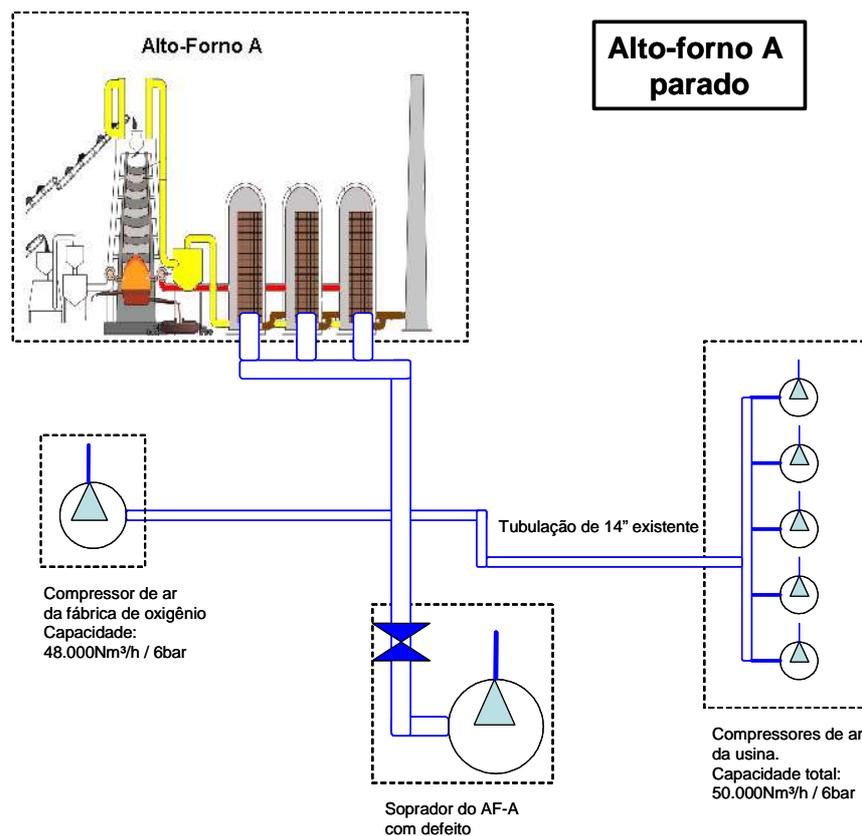
- a fábrica de oxigênio da White Martins possui dois compressores de 48.000 Nm<sup>3</sup>/h e 6 bar de pressão cada um.
- existência de uma tubulação de 14" desativada, que interliga a central de ar da ArcelorMittal Monlevade e a Fábrica da White Martins; e
- a central de ar estava atendendo somente a área de laminação e a FOX da White Martins estava operando somente com um compressor;

As Figuras 4 e 5 apresentam os diagramas esquemáticos referentes ao desenvolvimento da idéia de uso de ar comprimido.

### 3.2 Os Resultados Obtidos com o Uso de Ar Comprimido

Os seguintes ganhos foram obtidos através da implementação da idéia do uso de ar comprimido:

- evitado o resfriamento do cadinho e as suas graves conseqüências;
- viabilizado o sopro na ordem de 80.000 Nm<sup>3</sup>/h e produção em torno de 1.756 t/dia no período de 26 a 29 de junho de 2008; e
- redução de perdas/custos de combustíveis e energia elétrica nos processos enquanto durou a reparação do soprador.



**Figura 4** – Diagrama esquemático do Alto-forno A parado devido ao defeito no soprador.

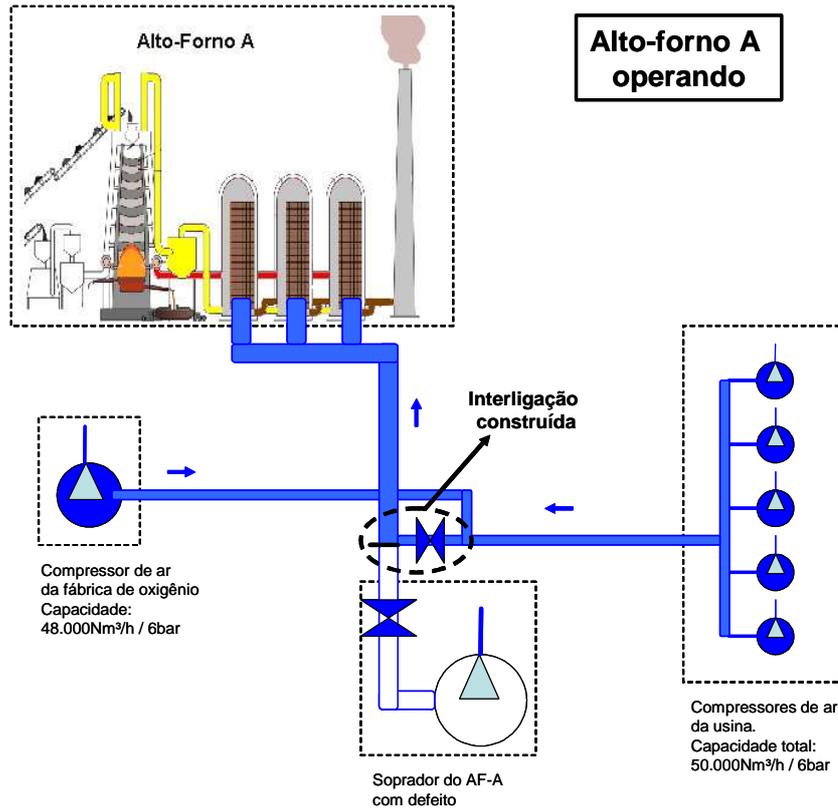


Figura 5 – Diagrama esquemático do Alto-forno A operando com ar comprimido.

### 3.3 Próximos Passos

Como apresentado, em 2012 uma parada para revisão da máquina deverá ser programada. Para isso, os seguintes estudos serão realizados objetivando minimizar os impactos na produção e no alto-forno:

- estudos técnicos, econômicos e financeiros para compra e instalação de um soprador *stand by*; e
- estudos para instalação de um sistema de ar comprimido alternativo, composto de uma tubulação de 24" em paralelo a de 14" existente, que permitirá a utilização plena dos compressores da fábrica da White Martins e da ArcerlorMittal, com vazão prevista até na ordem de 120.000 Nm³/h.

## 4 A OPERAÇÃO DO ALTO-FORNO "A" COM AR COMPRIMIDO

Em 16 de junho de 2008 foi realizada uma parada programada do Alto-forno A, com 62 horas de duração. Nesta oportunidade foi realizado um grande reparo na rede de ar quente dos regeneradores, que apresentava um trecho bastante danificado. Por se tratar de uma atividade programada, a carga do forno foi alterada prevendo o longo período de parada. O reinício de marcha aconteceu no dia 19/06 às 20:51h, sendo que menos de 12 horas depois o nível térmico do forno voltou para a faixa normal de trabalho, e a injeção de carvão pulverizado foi restabelecida. No dia 22/06 às 6:28h aconteceu a parada acidental do forno devido ao problema no soprador. Neste momento o alto-forno operava em sua condição normal de trabalho, sendo:

- vazão de sopro: 125.000 Nm³/h;

- taxa de injeção de carvão: 155 kg/t;
- *Coke Rate*: 336 kg/t; e
- ritmo de produção: 3.100 t/d.

Ao verificar a gravidade do problema com o soprador, a expectativa passou a ser a de ter sérias conseqüências no processo no retorno à operação, prevendo-se inclusive um resfriamento do cadinho, dadas as condições operacionais anteriores à parada imprevista e a indefinição quanto ao tempo de parada do soprador.

Com o surgimento da alternativa de interligação dos compressores à linha de ar frio, partiu-se para um reinício de operação com o único propósito de proceder à troca da carga do alto-forno para operação *all coke*, fazendo então uma nova parada preparada até o retorno do soprador à operação.

O reinício de operação com o ar dos compressores aconteceu no dia 25/06 às 8:37h, ou seja, 74 horas após a parada acidental. As primeiras corridas foram complicadas, conforme se previa. Todo o gusa da primeira corrida (~ 155 t) foi desviado para o *dry pit*, e as corridas seguintes, apesar de desviadas para os carros-torpedo, apresentaram baixa temperatura (1.330°C ~ 1.450°C) e baixo teor de silício (~ 0,10%). O nível térmico do forno voltou à condição normal cerca de 24 horas após o reinício de marcha.

Uma vez que a marcha operacional se mostrou estável após a recuperação do estado térmico do forno, decidiu-se por manter o alto-forno operando com o ar dos compressores até o retorno do soprador, o que aconteceu no dia 29 de junho de 2008. A manobra de ligar o soprador e colocar o ar no alto-forno, paralelamente à retirada do ar comprimido, se deu sem necessidade de interrupção do processo.

A Tabela 2 mostra os principais parâmetros operacionais do Alto-forno A em três momentos: antes da parada acidental, durante a operação com ar dos compressores e após o restabelecimento das condições normais de trabalho.

**Tabela 2:** Parâmetros operacionais do Alto-forno A

Parâmetro	Unidade	Antes	Durante	Após
Vazão de ar	Nm <sup>3</sup> /h	125.000	85.000	125.000
Temperatura do ar	°C	1.090	966	1100
Umidade do ar	g/Nm <sup>3</sup>	34	45	34
Taxa de injeção	kg/t	155	0	152
Fuel Rate	kg/t	516	519	503
Pressão de sopro	bar	2,83	1,78	2,72
Temperatura do gusa	°C	1505	1477	1502
Si no gusa	%	0,50	0,76	0,34

As Figuras 6, 7 e 8 mostram a evolução da produção, do consumo de redutores e dos parâmetros de sopro do alto-forno no período das ocorrências aqui relatadas.

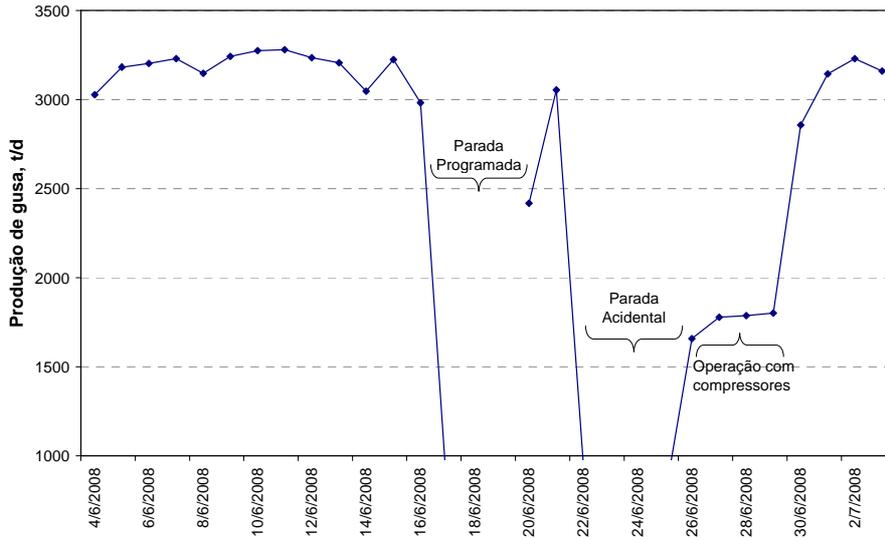


Figura 6 – Produção de gusa do AF-A.

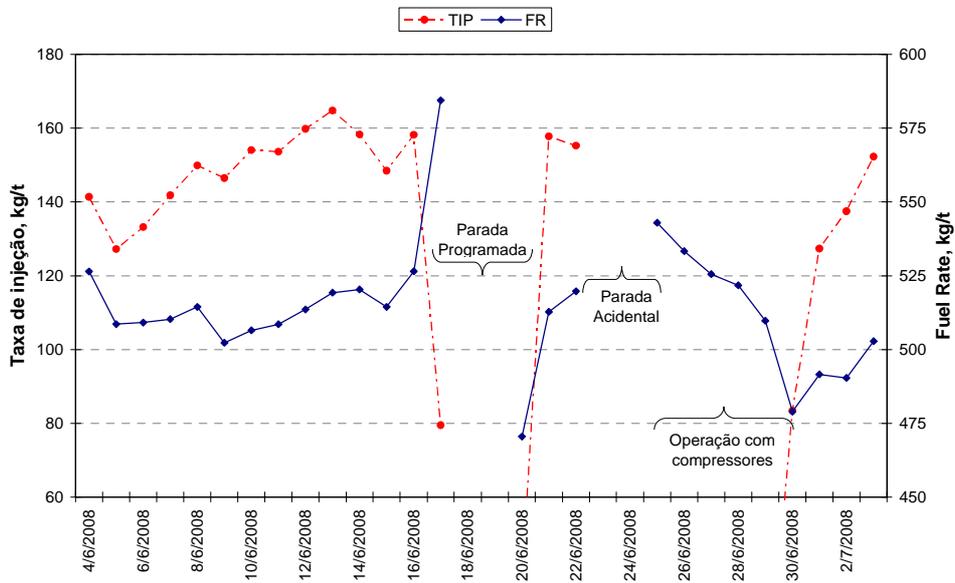


Figura 7 – Taxa de injeção e fuel rate do AF-A.

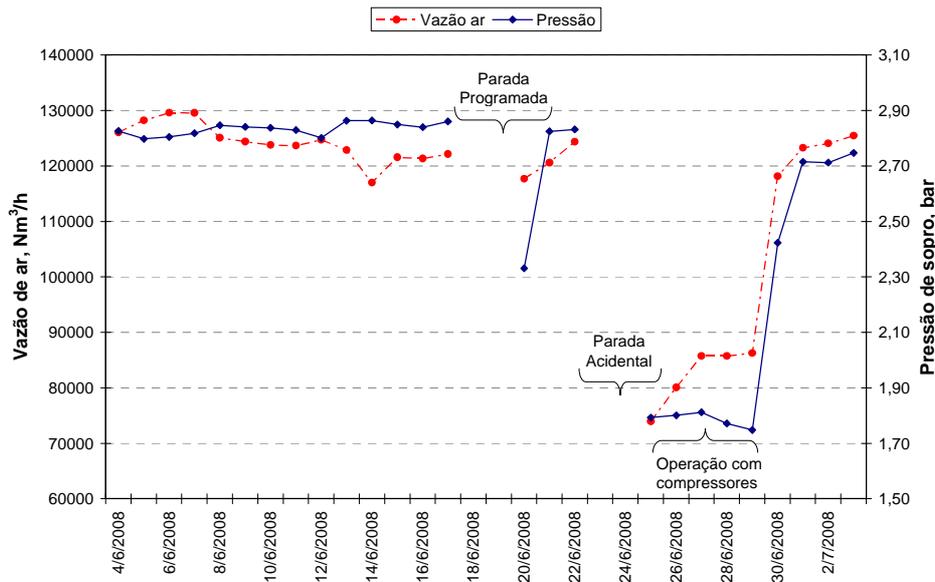


Figura 8 – Vazão e pressão de sopro no AF-A.

## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 Quanto ao Defeito do Soprador

- Apesar de todos os parâmetros de monitoramento e inspeção não indicarem problemas, torna-se necessário a abertura da máquina de acordo com a especificação do fabricante devido à existência de mecanismos móveis no interior da mesma;
- a existência dos conjuntos internos (estator e rotor) foi fundamental para a redução do tempo de reparo bem como a garantia de performance nos próximos quatro anos, sem intervenções (de acordo com fabricante); e
- necessidade de preparação para a próxima revisão em 2012, incluindo a abertura da máquina.

### 5.2 Quanto ao Uso de Ar Comprimido no Alto-forno

- A dedicação e grande comprometimento das equipes da usina que trabalharam tanto na viabilização da iniciativa inovadora, quanto na reparação do soprador, evitaram maiores prejuízos para a empresa;
- permitiu atendimento parcial de nossos clientes com a produção média em torno de 1.756 t/dia de gusa pela viabilização de vazão de sopro na ordem de 80.000 Nm³/h, no período de 26 a 29 de junho de 2008; e
- trouxe desdobramentos interessantes de aprendizado que evitarão prejuízos futuros. A solução adotada poderá ser divulgada, estudada e, talvez em alguns casos, adotada em outras usinas da ArcelorMittal no mundo.

### 5.3 Quanto à Operação do Alto-forno com Ar Comprimido

- A idéia inovadora de utilizar ar de compressores para operar o alto-forno foi de fundamental importância para a manutenção da integridade do processo, uma vez que evitou conseqüências piores, como um resfriamento do cadinho; e



- do ponto de vista operacional, o ajuste nos parâmetros do processo durante os cinco dias de uso do ar comprimido mostrou-se adequado à condição anormal de operação, permitindo manter a continuidade do processo em ritmo reduzido.

### **Agradecimentos**

Esse trabalho contou com a contribuição de várias pessoas. Todos os envolvidos sejam: a equipe técnica da usina, a equipe operacional, a engenharia e os colegas da ArcelorMittal Tubarão; não mediram esforços para que esse problema fosse solucionado eficazmente, com o menor impacto possível. Agradecemos a todos os participantes.