

# SHUTDOWN SEGURO DO ALTO FORNO 2 DA ARCELORMITTAL TUBARÃO<sup>1</sup>

Thiago Follador Amorim<sup>2</sup>  
Bruno Valladão Fraga<sup>2</sup>  
Akira Yoshida<sup>2</sup>  
Alfred Carstens<sup>3</sup>  
Claudio Anyzewski<sup>3</sup>  
Fumio Kikugawa<sup>4</sup>  
Marcos Vicente Bento Macedo<sup>5</sup>  
Geraldo Passos Filho<sup>6</sup>

## Resumo

Este trabalho tem o objetivo de apresentar a filosofia do projeto e os resultados da implantação do sistema de monitoração do *shutdown* do Alto Forno 2. O projeto envolveu a especificação dos sistemas de medição de vazão, pressão, temperatura e nível, amostragem de gás, alteração do software aplicativo existente, elaboração das telas de operação e curvas de tendências, visando o reaproveitamento dos equipamentos existentes e acompanhamento (monitoração) do processo através da sala de controle. A implantação deste projeto objetivou a monitoração contínua das variáveis de controle necessárias para o *shutdown* seguro do Alto Forno 2, evitando ocorrências operacionais, perdas materiais e acidentes pessoais.

**Palavras-chave:** *Shutdown*; Blow down; Alto Forno.

## BLAST FURNACE 2 - BLOW DOWN

## Abstract

The objective is to present the philosophy of the project and the results of the of the blow down (shutdown) management system of the Blast furnace 2. The project wrapped the specification of the systems of measurement of flow, pressure, temperature and level, sampling of gas, modification of the existent software, preparation of the displays and trends, aiming at the reuse of the existent equipments and attendance of the process through the control room. This project aimed at the continuous management of the necessary variables of control for the safe shutdown of the Blast furnace 2, avoiding operational incidents, material losses and personal injuries.

**Key words:** Shutdown; Blow down; Blast furnace.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 13º Seminário de Automação de Processos, 7 a 9 de outubro de 2009, São Paulo, SP.

<sup>2</sup> Especialista em Automação do Departamento de Manutenção Central da ArcelorMittal Tubarão – Serra – ES.

<sup>3</sup> Especialista em Engenharia Eletroeletrônica do Departamento de Manutenção Central da ArcelorMittal Tubarão – Serra – ES.

<sup>4</sup> Especialista em Instrumentação da COBRAPI - Serra – ES.

<sup>5</sup> Especialista em Instrumentação da Interpel - Serra – ES.

<sup>6</sup> Especialista em Instrumentação da GPF - Serra – ES.

## 1 INTRODUÇÃO

O *shutdown* de um Alto Forno é a parada temporária ou definitiva da produção, normalmente realizada para possibilitar a reforma do mesmo. O shutdown envolve algumas etapas operacionais, entre elas o *blow down*, a corrida da salamandra e o apagamento do coque remanescente.

O *blow down* é uma operação onde o nível da carga é abaixado até o nível das ventaneiras, tendo como resultado final o cadinho cheio de coque com um mínimo remanescente de material líquido no interior do mesmo, ficando então vazio do nível das ventaneiras ao topo.<sup>(1)</sup> Como operações subseqüentes ao *blow down* têm-se a corrida da salamandra, onde o máximo de material líquido é retirado do interior do cadinho por um furo feito na base do mesmo, sendo seguido pelo apagamento do coque remanescente.

O ponto crítico desta atividade está nos riscos que este procedimento traz devido principalmente ao aumento significativo da quantidade de hidrogênio no gás de topo e a possibilidade da ocorrência de explosões.<sup>(1)</sup>

Outro fator crítico é a temperatura do gás do topo que se eleva gradualmente a partir da parada do carregamento de material frio para o interior do Alto-Forno.<sup>(1)</sup> Para este controle, são instalados os bicos especiais de spray de água, destinados a minimizar temperatura do gás do topo. Além disto o controle da temperatura do topo poderá ser feito pela combinação do volume de sopro, temperatura de sopro e abertura da água dos sprays no topo do forno.

Para a realização do shutdown do Alto Forno, são necessários os seguintes procedimentos:

- análise do gás do topo;
- descida de carga;
- injeção de água;
- injeção de nitrogênio; e
- injeção de vapor.

## 2 ABAIXAMENTO DE CARGA

Durante o abaixamento da carga, visando reduzir a temperatura do gás preservando assim os equipamentos do topo, foi utilizada a linha de controle da temperatura do gás do topo existente. Existem instaladas duas bombas de 60 m<sup>3</sup>/h, dois anéis com três sprays cada, duas válvulas motorizadas, uma para cada anel e um transmissor de vazão. A vazão de água prevista foi de 120 m<sup>3</sup>/h. Os bicos sprays originais foram substituídos por sprays especiais visando reduzir a possibilidade de geração de H<sub>2</sub> durante abaixamento da carga.

Foi instalada uma tubulação, no lugar da sonda fixa, também com o spray especial, no centro do forno, voltado para cima, visando formar uma névoa de água com objetivo de proteger a caixa de engrenagem de altas temperaturas. Para controle da vazão foi especificada uma válvula com posicionador pneumático.

O nível da carga foi monitorado utilizando a sonda mecânica e os dois radares instalados atualmente. O curso máximo da sonda vai até o nível GL18.300.

Para a análise dos gases no topo foram utilizados os cromatógrafos instalados atualmente. Para análise do O<sub>2</sub>, foram utilizados dois analisadores de O<sub>2</sub>, retirados da planta de Injeção de Carvão Pulverizado.

## 2.1 Análise do Gás do Topo

### 2.1.1 Introdução

Durante o abaixamento de carga, um número grande de mudanças na análise do gás do topo é esperado, o que indicará como o *blowdown* esta transcorrendo.

A elevação do hidrogênio no topo está diretamente ligada à injeção de água no topo do forno. O limite de hidrogênio está fixado em 12% na base úmida.<sup>(1)</sup>

A elevação do oxigênio se dá principalmente pelo mau contato entre o ar soprado e o coque da carga, o que pode acontecer em consequência de arriamentos ou no final do abaixamento da carga, pela falta de coque em frente às ventaneiras.<sup>(1)</sup>

Quando o nível de carga alcança a cuba inferior a concentração de CO começará a cair enquanto a de CO<sub>2</sub> aumentará. O ponto que o CO e o CO<sub>2</sub> são iguais é chamado de *crossover* e é uma indicação que o *blowdown* esta perto do fim.<sup>(1)</sup>

As concentrações dos elementos do gás do topo devem ser monitoradas e mantidas dentro de níveis operacionais seguros e devido a isto a análise dos gases do topo é de vital importância para o controle da operação de abaixamento de carga do alto-forno.

### 2.1.2 Descrição do sistema de análise de gás do topo

A idéia básica foi utilizar o sistema de análise de gás do topo do forno existente, baseado em cromatografia. O sistema existente obtém as amostras após o sistema de limpeza de gás em condições de pressão e condicionamento das amostras ideais para a análise.

Durante a fase de abaixamento de carga, o gás de alto forno (BFG) não é mais aproveitável para utilização em sistemas e processos da usina, pois seu poder calorífico e composição não permitem. A partir desse momento, o mesmo é lançado para a atmosfera através das válvulas *bleeders*, sendo necessária a alteração do ponto de obtenção de amostra para análise, resultando na utilização de sondas nos *off takes* do alto-forno. Para tal, foi necessário o desenvolvimento de projetos de instalação de linhas complementares de transporte das amostras desde o topo até o sistema de amostragem de gás limpo existente.

### 2.1.3 Descrição do Sistema de Amostragem

A partir de duas tomadas de pressão de 2" existentes nos *off take* diametralmente opostos, foram instaladas duas sondas de amostragem de aço inoxidável, com inclinação mínima de 10° na direção do forno retornando assim para o forno qualquer água captada na forma líquida. Uma válvula esfera de passagem plena permite isolar a sonda de amostragem.

Dois filtros na saída de cada sonda com área de filtragem de 590 cm<sup>2</sup>, grau de filtragem de 2 µm, envolvidos em uma manta de fibra de vidro removerão a maior parte do particulado protegendo a linha de transporte e o sistema de amostragem existente. O conjunto dos filtros será aquecido com vapor e resistência elétrica para evitar condensação.<sup>(2)</sup>

A fim de garantir que não haja condensação nas linhas de amostragem, estas foram mantidas aquecidas através da utilização de vapor passante através de tubos de aço, que envolve as tubulações de amostragem que foram construídas em cobre.

No final as duas linhas se unem às linhas do sistema de amostragem existente antes do condensador. Neste ponto estão previstos pontos de injeção de nitrogênio para purga e limpeza das linhas e filtros.

Após os condensadores foi instalado um totalizador de vazão de gás e potes para coleta do condensado. O condensado gerado foi utilizado na quantificação do teor de umidade do gás no topo (estimativa) e correção das concentrações medidas para a base seca.

Dois analisadores de oxigênio foram instalados em cada circuito dos dois cromatógrafos, sendo os sinais encaminhados para a sala de controle.

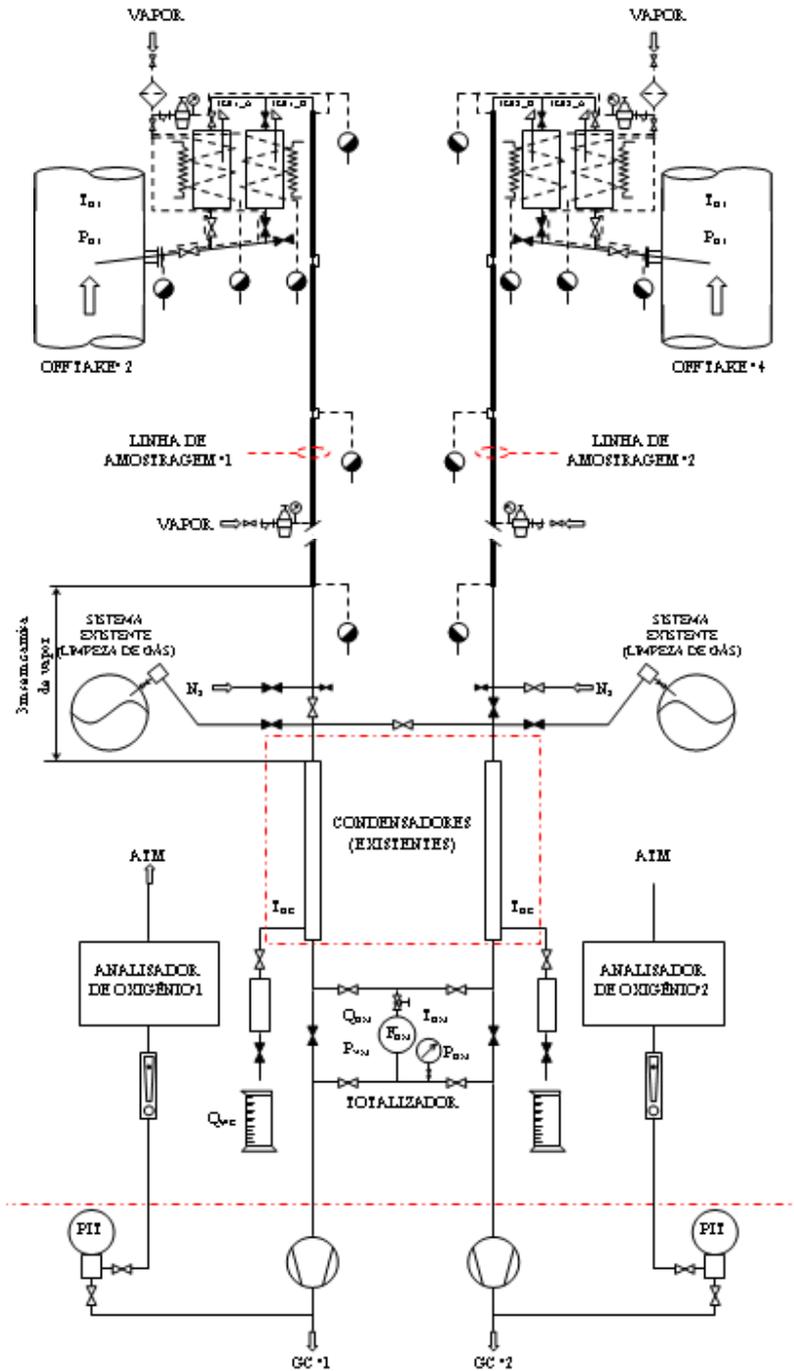
A amostra é coletada em dois *off takes* diametralmente opostos, de forma que uma linha ficaria como *stand by* da outra. A linha em *stand by* após o sopro com nitrogênio fica em *stand by* com uma pequena vazão de purga com nitrogênio.

Um filtro primário de grande capacidade (500 cm<sup>2</sup> de área filtrante) com um grau de filtragem de 20 µm e um secundário de capacidade usual em sistemas de amostragem com grau de filtragem de 5 µm a 10µm, foram mantidos a pelo menos 150°C para evitar condensação.<sup>(2)</sup>

Para transporte da amostra até o sistema existente de amostragem de BFG foi utilizado um tubo de cobre recozido, acompanhado por um tubo de vapor. Todo o conjunto foi mantido junto por meio de amarração com arame de aço. A isolamento térmica com hidrossilicato de cálcio e proteção de alumínio foi efetuada em todo o trajeto, exceto nos dois últimos metros antes de conectar com o sistema de amostragem existente.

A distância estimada entre o filtro secundário e a entrada do sistema de amostragem existente é de 120 metros acompanhando o percurso da linha do BFG. A cada trecho de linha de vapor de 20 metros foi previsto purgadores de vapor com filtros de proteção, além dos purgadores específicos para o conjunto dos filtros primários e secundários.<sup>(2)</sup>

Em relação aos sensores de temperaturas dos filtros, não foi necessário o lançamento de cabos até a sala de controle, visto que foram utilizados pontos reservas disponíveis no painel de interligação localizado próximo ao local de instalação dos filtros. Logo, foram lançados cabos no pequeno trecho entre os sensores e o painel e configurados os sinais no sistema de controle conforme range de medição especificado. Os analisadores de oxigênio foram instalados no mesmo local do analisador de gás do topo (cromatógrafo), não sendo necessário o lançamento de novos cabos até a sala de controle para a leitura dos sinais. Foram utilizados cabos reservas e configurados os sinais no sistema de controle conforme range de medição especificado.



TRATAMENTO DE AMOSTRA & CROMATÓGRAFOS EXISTENTES  
**Figura 1** - Esquemático captação e transporte de amostra dos off takes.

## **2.2 Injeção de Água para Redução da Temperatura do Gás do Topo**

A lógica de programação responsável pelo controle da temperatura do topo não permitia a abertura intermediária das válvulas motorizadas. Foi elaborada nova lógica no sistema de controle visando permitir a abertura intermediária das válvulas motorizadas existentes, possibilitando o controle da vazão conforme necessidade operacional.

Em relação à válvula de controle da água central, visando evitar o lançamento de cabos até a sala de controle, foram utilizados os cabos dos transmissores de pressão da cuba disponíveis no painel de interligação localizado próximo ao local de instalação da válvula. Logo, foram lançados cabos no pequeno trecho entre os transmissores e a válvula e elaborado lógica no sistema de controle possibilitando acionamento da válvula via tela da estação de operação.

## **3 RESFRIAMENTO**

O resfriamento/apagamento tem como objetivo o rápido resfriamento dos refratários do cadinho e do coque remanescente no Alto-Forno. Consiste em encher o Alto-Forno com água até 3 m acima do nível das ventaneiras e mantê-lo cheio até que a temperatura do cadinho esteja suficientemente baixa para permitir o início dos procedimentos de limpeza. Durante o apagamento do coque incandescente, há grande formação de  $H_2$  a partir da dissociação da água.

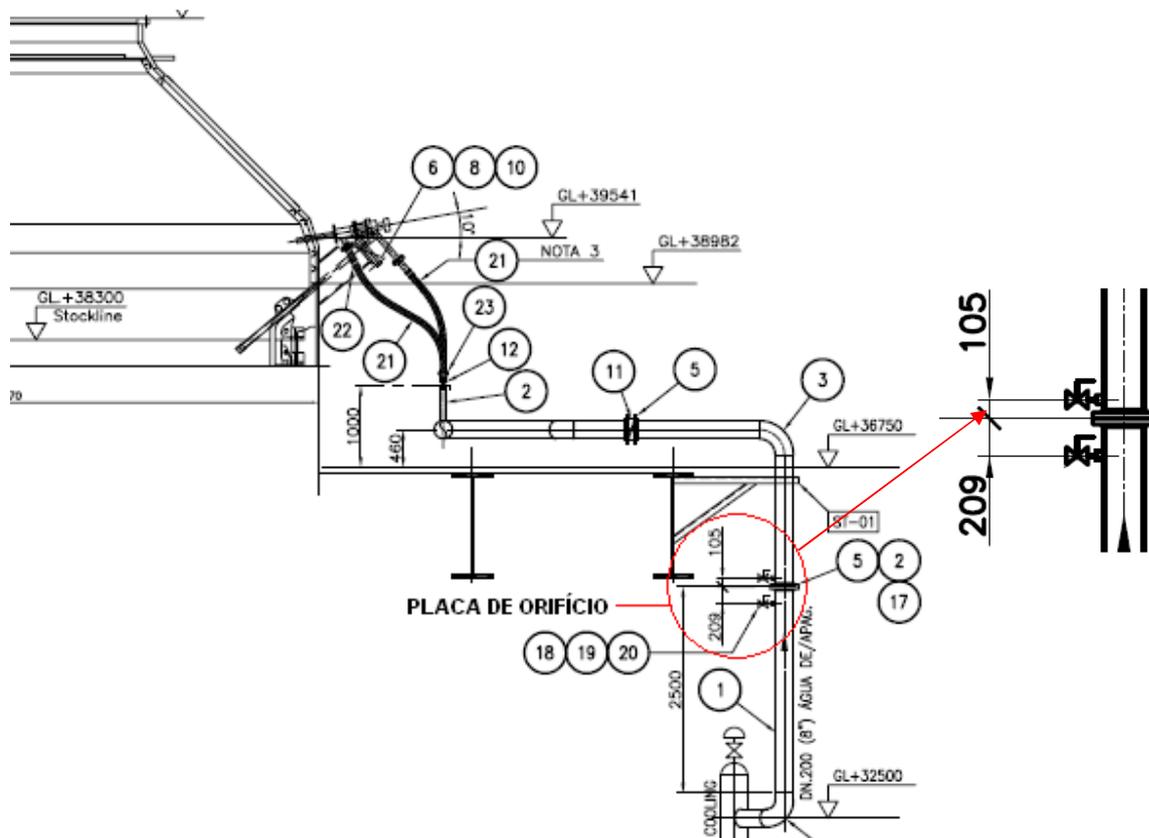
Para o resfriamento foi utilizada a linha de água do spray da carcaça para efetuar o enchimento do Alto Forno. A vazão de água prevista foi de 230 m<sup>3</sup>/h. Uma linha de nitrogênio foi instalada como elemento de diluição, de modo a evitar a formação de atmosfera explosiva de  $H_2$  e  $CO$ .<sup>(1)</sup> A linha possuía seis anéis, com oito sprays instalados em cada linha.

A água utilizada foi drenada pelas ventaneiras e furos de gusa para seu posterior tratamento e reaproveitamento. A drenagem foi realizada através de 2 linhas de drenagem, uma responsável pela captação da água proveniente das ventaneiras 6 e 22 e a outra das ventaneiras 11 e 17.

Para controle da pressão interna do Alto Forno, foi utilizada a bleeder nº 3 do topo, acionada através do painel de emergência.

### **3.1 Injeção de Água para Apagamento**

Na linha de injeção de água foi instalada uma placa de orifício possibilitando a medição de vazão de água injetada no Alto Forno durante o shutdown. A placa foi calculada em função dos dados de vazão, pressão e temperatura fornecidos pela operação. Foi instalado um transmissor de vazão próximo a placa. Visando evitar o lançamento de cabos até a sala de controle, foram utilizados os cabos dos transmissores de pressão da cuba disponíveis no painel de interligação localizado próximo ao local de instalação do transmissor provisório. Foi configurado o sinal de vazão no sistema de controle conforme range de medição especificado e possibilitado leitura através da estação de operação. A Figura 2 mostra o local de instalação da placa de orifício.<sup>(2)</sup>



**Figura 2** – Linha Provisória de Injeção de Água.

Para monitoração do nível acima das ventaneiras, foi instalado transmissor de nível em paralelo com a coluna de nível instalada em uma das ventaneiras.

### 3.2 Injeção de Nitrogênio

Na linha de injeção de nitrogênio foi instalada uma placa de orifício possibilitando a medição de vazão de nitrogênio injetada no Alto Forno durante o shutdown. A placa foi calculada em função dos dados de vazão, pressão e temperatura fornecidos pela operação. Foi instalado um transmissor de vazão e pressão próximo a placa. Visando evitar o lançamento de cabos até a sala de controle, foram utilizados os cabos dos transmissores de pressão da cuba instalados atualmente no nível GL24000. Foram reconfigurados os canais utilizados de acordo com os novos transmissores instalados, incluindo as medições na tela do sistema de controle. Foram alterados tags, ranges de medição e unidades de engenharia no sistema de controle. A Figura 3 mostra o local de instalação da placa de orifício.<sup>(2)</sup>

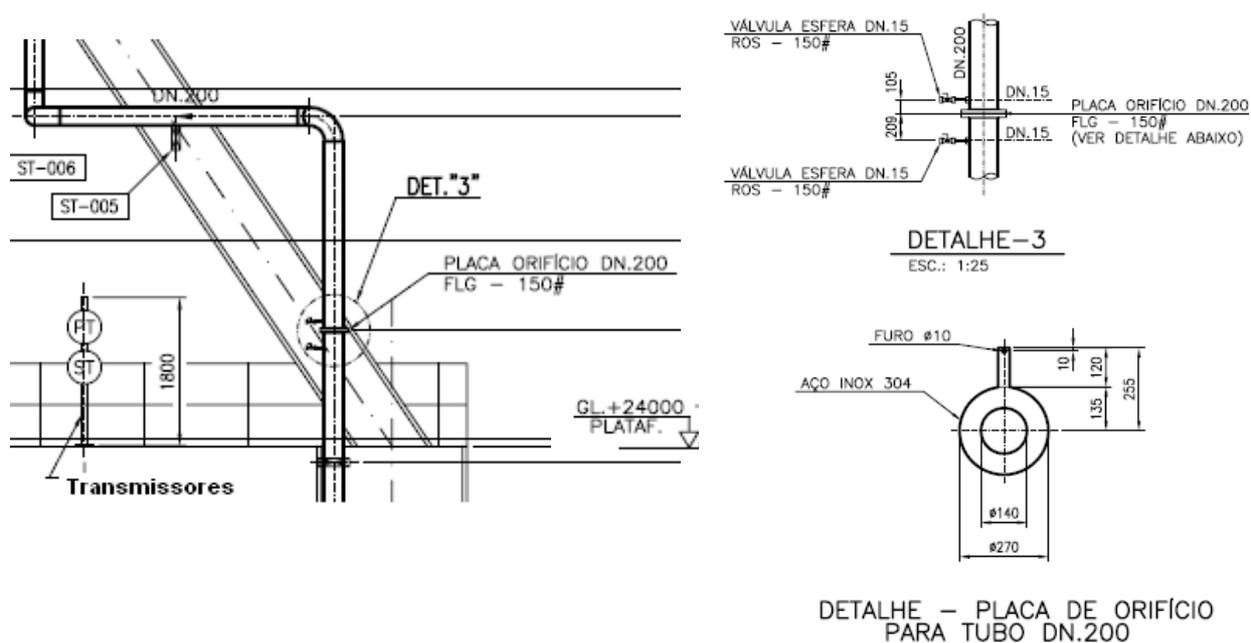


Figura 3 – Linha Provisória de Injeção de Nitrogênio

### 3.3 Remoção da Água de Apagamento

A monitoração da água de apagamento foi realizada através de 4 sensores de temperatura (termopares), instalados nos tampões de alumínio fixados nas ventaneiras 6, 11, 17 e 22. Em cada tampão e em cada linha foi instalado um termopar. A Figura 4 mostra a distribuição dos termopares.

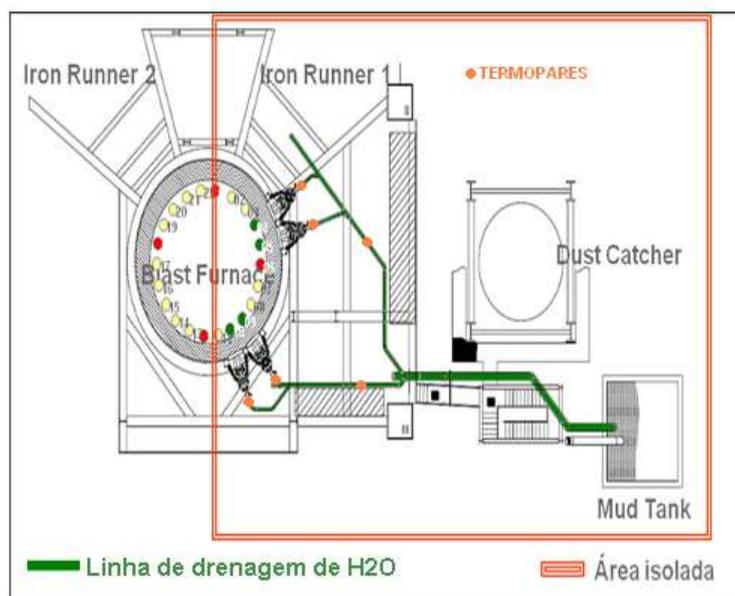


Figura 4 – Linha de Água de Drenagem.

Não foi necessário o lançamento de cabos até a sala de controle, visto que foram utilizados pontos reservas disponíveis no painel de interligação localizado próximo ao

local de instalação dos termopares. Logo, foram reconfigurados os sinais no sistema de controle conforme range de medição especificado.

#### 4 MONITORAÇÃO DO SHUTDOWN

O acompanhamento do shutdown foi realizado através da tela desenvolvida no sistema de controle do Alto-Forno 2, conforme mostrado na Figura 5.

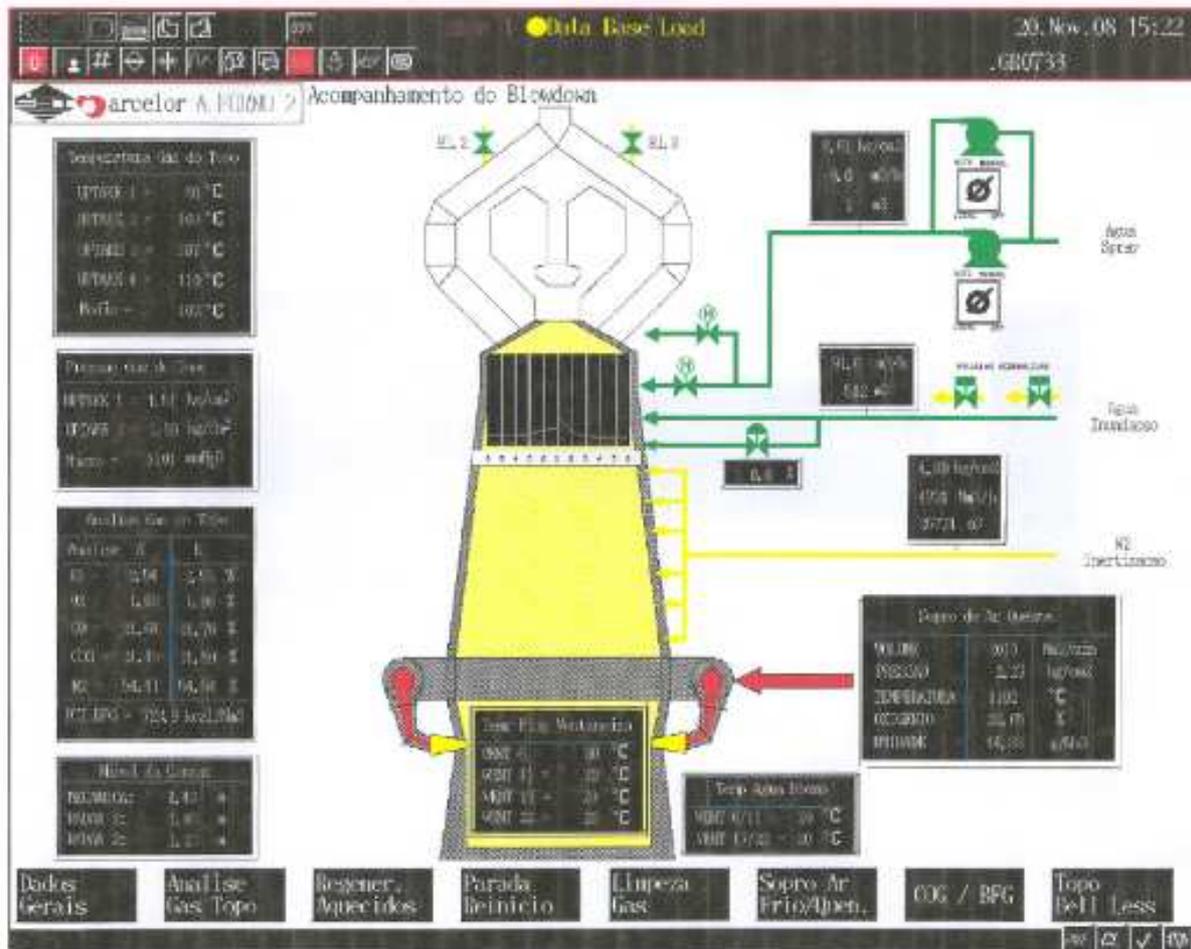


Figura 5 – Tela de Monitoração e Operação

Foram monitoradas as seguintes variáveis necessárias para o *shutdown*:

- 1) Temperatura do Gás do Topo: indicadas as temperaturas do up take 1, 2, 3, 4 e a média entre elas;
- 2) Pressão do Gás do Topo: indicadas as pressões do UP TAKE 1, 2 e micro pressão do topo;
- 3) Análise do Gás do Topo: indicados os percentuais de H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>;
- 4) Nível de Carga: indicadas 3 medições do nível de carga, uma proveniente da sonda mecânica e duas dos radares;
- 5) Medição de Vazão de Água de Spray (novos bicos): indicadas a pressão, vazão e o valor acumulado de água consumido. Também estará disponível na tela o estado de

funcionamento das bombas de água. O operador efetuará a partida/parada das bombas de água e a abertura/fechamento das válvulas do spray do topo;

6) Medição de Vazão de Água de Resfriamento: indicadas a vazão e o valor acumulado de água consumido. Para liberação de água através dos sprays, esta poderá ser realizada em dois estágios através da tela. A liberação de água no centro do AF será realizada através de uma válvula controladora. O operador ajustará o percentual de abertura da válvula através da tela, até atingir a vazão desejada;

7) Medição de Vazão de Nitrogênio de Diluição: indicadas a pressão, vazão e o valor acumulado de nitrogênio consumido;

8) Sopro de Ar Quente: indicadas o volume, pressão, temperatura, percentual de oxigênio e umidade do ar soprado;

9) Temperaturas dos Tampões das Ventaneiras: indicadas as temperaturas dos tampões instalados nas ventaneiras nº. 6, 18, 12 e 01;

10) Temperaturas da Água de Drenagem: indicadas as temperaturas da água de drenagem da linha referente as ventaneiras 4/5 e da linha referente a 9/10;

11) Bleeder nº. 3: disponível na tela o estado de funcionamento da válvula.

Também foram elaboradas curvas de tendências para acompanhamento das variáveis mais críticas, conforme mostrado na Figura 6.

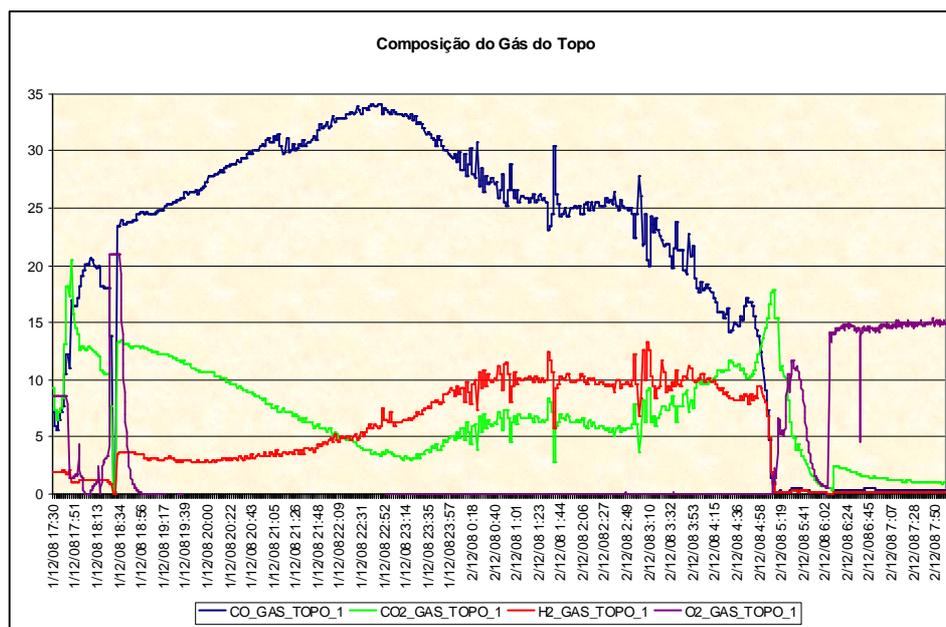


Figura 6 – Acompanhamento do crossover no Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Tubarão.

## **5 CONCLUSÃO**

As experiências obtidas durante o projeto, fase de preparação e a realização do apagamento do Alto Forno 2, forneceu dados e referências para o desenvolvimento de futuros projetos, basicamente para o apagamento do Alto Forno 1 quando da reforma do mesmo. O projeto possibilitou um apagamento seguro, sem ocorrências operacionais, perdas materiais e acidentes pessoais e, além disso, proporcionou o acompanhamento histórico das variáveis pelo sistema de controle do Alto Forno.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 ARCELORMITTAL TUBARÃO. *Relatório de Preparação para a Parada do Alto Forno 2*. Serra, ES, 2008.
- 2 ARCELORMITTAL TUBARÃO. *Descrição Funcional da Instrumentação para o Blow Down*. Serra, ES, 2009.