

# ESTRATÉGIA DE CONTROLE PARA PRÉ-AQUECEDORES DE AR TIPO GLENDON<sup>1</sup>

*Marcelo Versiani Carneiro<sup>2</sup>  
Charles Sostenes Assuncao<sup>3</sup>  
Kelsey Fonseca Dias<sup>3</sup>  
Renato Alves de Souza<sup>4</sup>*

## Resumo

A V&M do Brasil S.A. possui três Glendons para o pré-aquecimento de ar para o Alto forno 2. O correto e eficiente controle das vazões, pressões e temperaturas desses equipamentos permitem alcançar a temperatura desejada para o ar de sopro com baixa variabilidade. Este trabalho descreve a estratégia de controle desenvolvida pelas equipes de manutenção e automação da V&M que possibilitou a estabilização do processo, redução de mais de 70% no número de paradas e aumento de mais de 50°C na temperatura do ar de sopro para o alto forno respeitando os limites operacionais dos equipamentos.

**Palavras-chave:** Pré-aquecedores de ar; Controle de combustão; Otimização; Malhas de controle.

## CONTROL STRATEGY FOR AIR HEATERS GLENDON-TYPE

## Abstract

V&M do Brasil S.A. has three Glendons to supply hot air to the Blast Furnace 2. The correct and efficient Glendons' pressure, flows and temperatures control allow the process reaching the desired air temperature to the Blast Furnace with low variability. This paper describes the control strategy developed by V&M maintenance and automation teams that achieved the process stabilization, more than 70% of stoppages reduction and an increase of more than 50°C in hot air temperature respecting the equipments operational limits.

**Key words:** Air heaters; Combustion control; Optimization; Control Loops.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 15º Seminário de Automação e TI Industrial, 20 a 22 de setembro de 2011, São Paulo, SP.

<sup>2</sup> Engenheiro de Controle e Automação (V&M do Brasil).

<sup>3</sup> Engenheiro Mecânico (V&M do Brasil).

<sup>4</sup> Técnico Industrial III (V&M do Brasil).

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Glendons

O Glendon Siderúrgico é um equipamento que tem como propósito aquecer o ar que é injetado no interior do alto-forno a temperaturas requeridas pelo processo de redução do minério de ferro.

Os Glendons possuem um regime de trabalho contínuo e consistem em câmaras com paredes refratárias, onde ocorre a combustão do gás efluente do topo do alto-forno. O calor gerado pela combustão aquece o ar que passa em tubos de aço, chamados de serpentinas. O ar quente é então conduzido ao anel de vento e injetado no alto-forno através das ventaneiras. No interior do alto-forno, o ar quente injetado reage com o carvão produzindo uma chama contínua na região das ventaneiras.<sup>(1)</sup>

O alto-forno 2 da V&M do Brasil possui um sistema de aquecimento de ar de sopro composto de três Glendons (Figura 1).

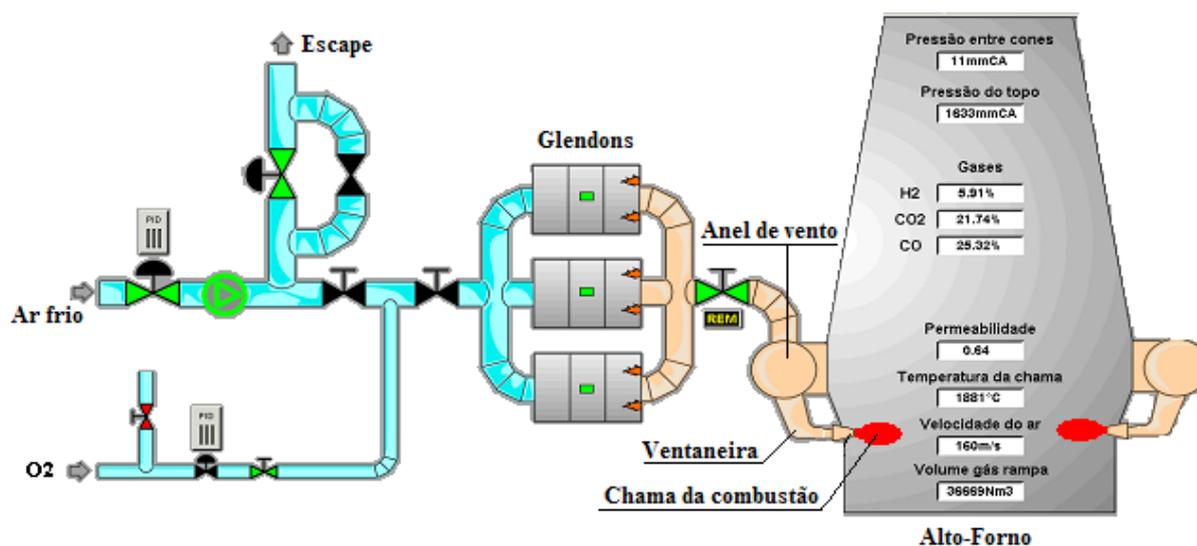


Figura 1. Visão geral fluxo de ar de sopro Alto forno 2.<sup>(1)</sup>

A operação do Glendon consiste em manter a temperatura do ar de sopro constante, ao mesmo tempo em que as temperaturas nas câmaras internas permanecem nas faixas de controle com valor máximo de 1.150°C, para proteção dos tubos das serpentinas.

### 1.2 Objetivos

#### 1.2.1 Temperatura do ar de sopro

No processo dos altos-fornos, quanto maior a temperatura de chama mais fácil é a injeção de combustíveis auxiliares, como finos de carvão, maior é a produtividade e menores são os consumos específicos de ar de sopro e de carvão vegetal.<sup>(1)</sup>

Uma das formas para elevar a temperatura de chama é o aumento da temperatura do ar de sopro. Este mecanismo atua como complemento a outros fatores como o enriquecimento do mesmo ar com oxigênio e a variação na taxa de injeção de finos promovendo economia e maior eficiência ao processo. Assim, os valores máximos

possíveis de temperatura do ar de sopro são sempre objetivados na operação de altos-fornos.

### 1.2.2 Garrafas

Cada glendon instalado na V&M do Brasil possui um conjunto de 16 serpentinas tubulares metálicas, também conhecidas como garrafas. Em seu interior circula o ar de sopro pressurizado que é aquecido ao trocar calor com os gases gerados na combustão do gás de alto-forno no interior da câmara.

A temperatura de trabalho das garrafas consiste em um importante limitador para o processo. Valores altos de temperatura implicam na degradação do material das garrafas gerando custos de manutenção e paradas no processo produtivo.

O problema de controle de processo nos glendons pode ser definido como: alcançar a maior temperatura de sopro possível, mantendo a temperatura de câmara abaixo dos valores limite de projeto das garrafas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Variáveis do Processo

A estrutura física dos glendons e as variáveis do processo são apresentadas na Figura 2.

A temperatura do ar de sopro é medida após cada glendon. Dessa forma, é possível verificar a contribuição de cada um para o aquecimento do ar, já que o fluxo que passa através dos glendons é somado antes de chegar ao alto forno. Quanto maior o valor dessa temperatura, melhor para o processo. Valores típicos estão entre 750°C e 880°C.

A temperatura do ambiente interno da câmara de combustão é monitorada em vários pontos já que, o aquecimento apenas da parte frontal da câmara prejudica a troca térmica.

A pressão interna da câmara é medida e deve ser controlada porque valores baixos indicam a entrada de ar frio pelas frestas do equipamento, enquanto valores altos indicam a saída de gases quentes do interior da câmara para o ambiente.

A temperatura dos fumos é monitorada e pode ser utilizada para acompanhar a eficiência da troca térmica.

As variáveis que são manipuladas diretamente são as vazões de ar e gás de alto forno. Acionadas em conjunto, estão diretamente correlacionadas com as temperaturas do ar de sopro e da câmara de combustão. Entretanto, a relação entre essas vazões é inversamente proporcional à temperatura de câmara.

A rotação do exaustor é diretamente proporcional à pressão da câmara e inversamente proporcional à temperatura da mesma.

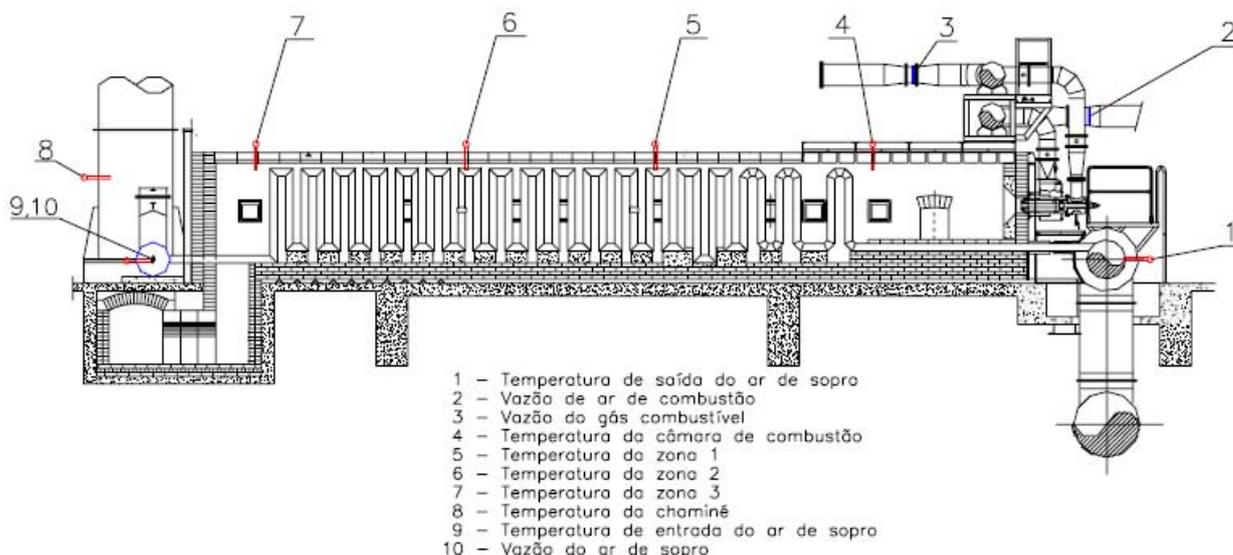


Figura 2. Variáveis de processo dos Glendons.<sup>(1)</sup>

## 2.2 Estratégia de Controle Proposta

Para alcançar os objetivos de controle, uma estratégia de controle foi elaborada (Figura 3).

As variáveis básicas para o controle do processo são as vazões de ar de combustão e gás de alto forno. Dois controladores PI foram projetados para garantir que elas sigam os valores desejados.

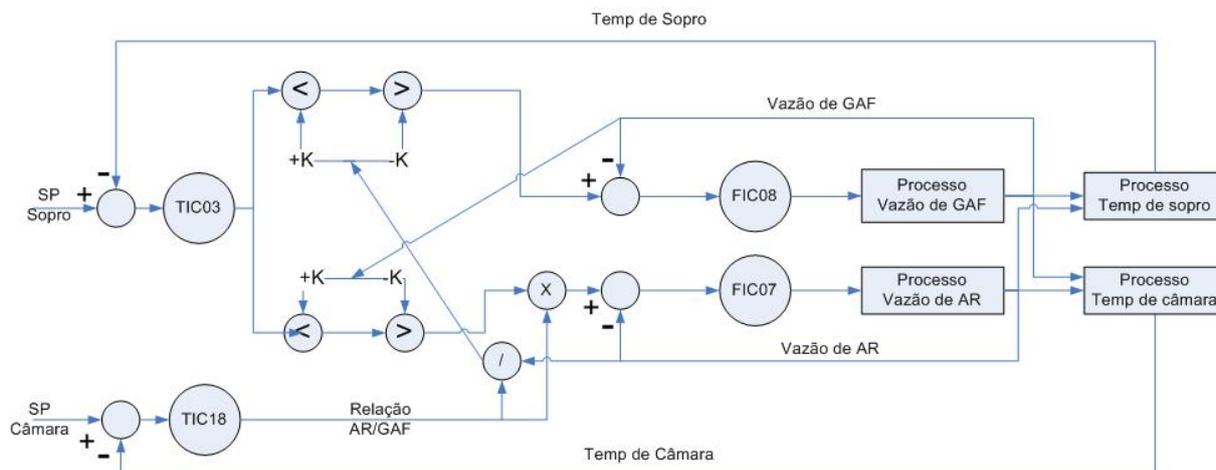


Figura 3. Diagrama da estratégia de controle para os Glendons.

A temperatura do ar de sopros é diretamente proporcional ao volume de gases no interior da câmara. Quanto maior esse volume, maior é a transferência de calor do ambiente para as garrafas. Assim, um controlador PID foi projetado para controlar a temperatura de sopros atuando como o mestre das vazões em um esquema de duplo limite cruzado, que garante a manutenção da relação ar/gás desejada.

A temperatura de câmara é diretamente proporcional à temperatura de chama e, esta, por sua vez é ditada pela relação ar/gás utilizada. É possível, portanto,

manipular a relação ar/gás de forma a controlar a temperatura de câmara. Outro controlador PID foi projetado para esta finalidade.

Um último controlador PI foi elaborado para atuar na rotação do exaustor de forma a garantir a pressão interna da câmara. Para esta variável, deseja-se alcançar valores ligeiramente negativos.

Obviamente existem acoplamentos entre a pressão de câmara, a temperatura de câmara e a temperatura de sopro. Entretanto, estas interferências não foram tratadas na estratégia proposta e são considerados como perturbações para cada malha de controle individualmente. Considerando que existem diferenças consideráveis nos tempos de resposta de cada variável, estas interações não representam maiores problemas.

## 2.3 Implementação

Para colocar a estratégia proposta em operação alguns passos foram necessários. As válvulas de controle sofreram manutenção, pois apresentavam agarramento e problemas de abertura. Além disso, foi realizada uma limpeza na linha de gás de alto forno, já que o acúmulo de pó restringiu a tubulação dificultando o alcance de altas vazões.

Foram elaborados modelos para as pressões, vazões de GAF e ar e para as temperaturas de sopro e de câmara. Esses modelos foram a base para a seleção dos parâmetros PID utilizados.

## 3 RESULTADOS

Após as alterações, houve uma redução significativa da variabilidade das temperaturas de sopro e de câmara. Além disso, foi possível controlar essas variáveis nos valores desejados. Isso não era possível com a estratégia de controle chaveado adotada anteriormente.

As Figuras 4 e 5 mostram o comportamento das temperaturas de câmara e sopro antes e após as melhorias na estratégia de controle (janela de dados de três dias). Percebe-se nitidamente a menor variabilidade após as alterações.

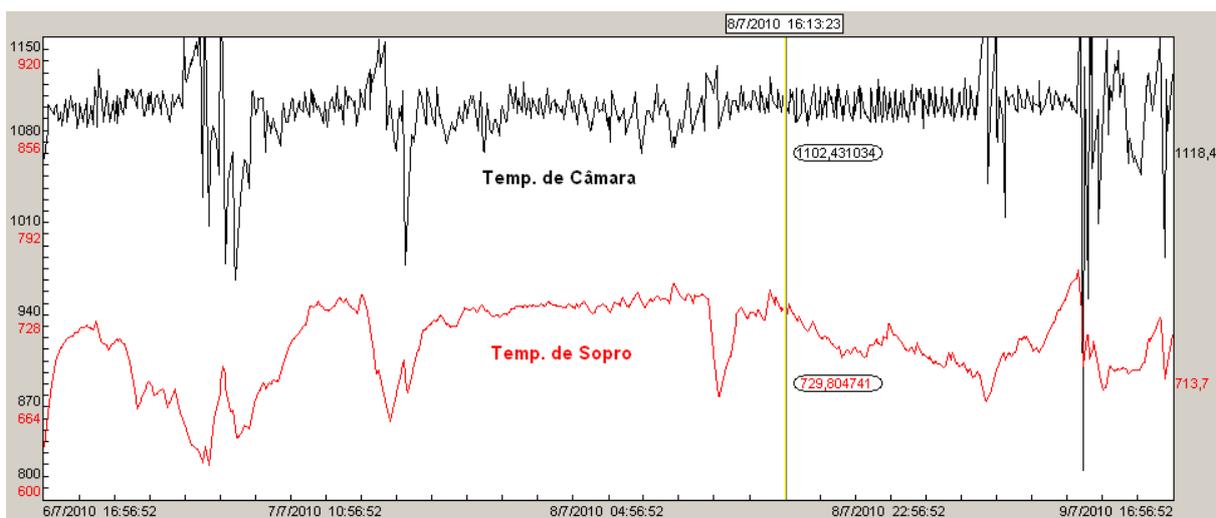


Figura 4. Comportamento das temperaturas do Glendon 1 antes das melhorias.

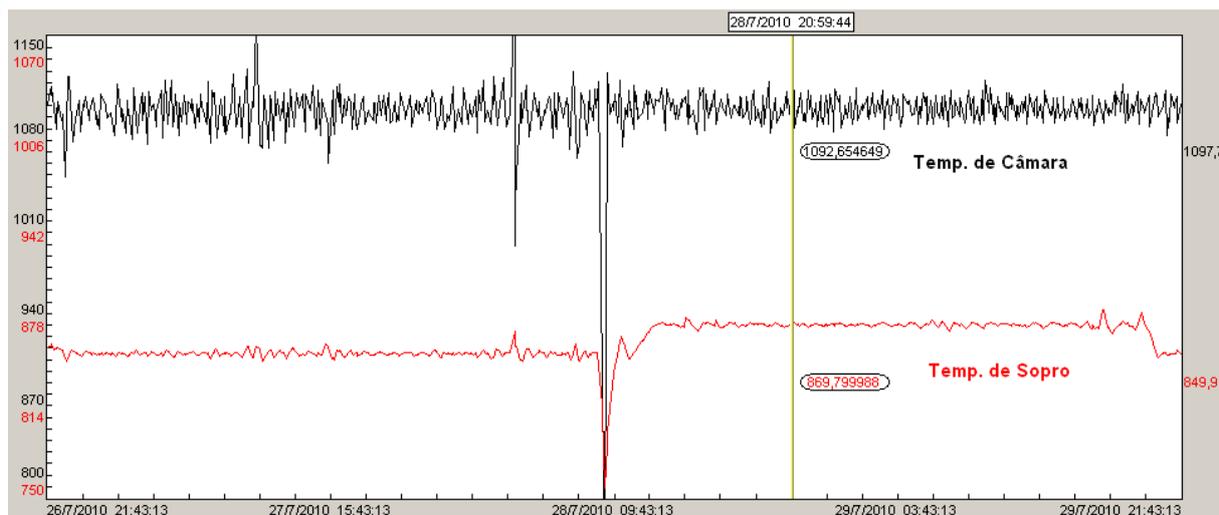


Figura 5. Comportamento das temperaturas do Glendon 1 depois das melhorias.

Ocorrências de temperaturas de câmara maiores que  $1.150^{\circ}\text{C}$  resultam no fechamento automático dos queimadores para a proteção das garrafas. O controle mais eficiente da temperatura de câmara possibilitou a redução do número dessas paradas. Utilizando valores diários do número de paradas de 12 meses (6 meses antes das melhorias e 6 meses após) atestou-se estatisticamente, por teste de hipótese,<sup>(2)</sup> que o número médio de paradas foi reduzido em 78% após as melhorias. A Figura 6 apresenta a evolução do número médio mensal de paradas nos queimadores dos glendons.

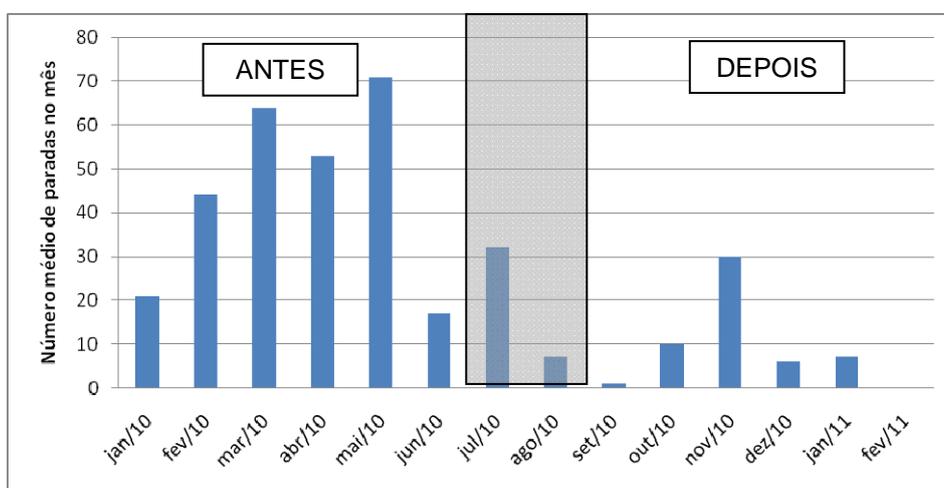
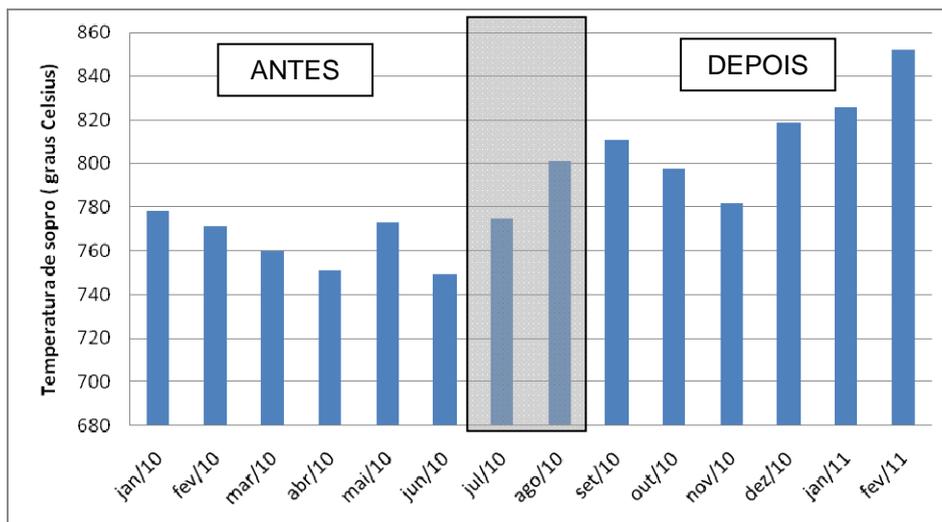


Figura 6. Evolução do número de cortes dos queimadores.

Após as melhorias, a variável restrição (temperatura de câmara) passou a ser controlada de forma independente da variável objetivo (temperatura de sopro). Isso, somado à redução das paradas, possibilitou um aumento da temperatura média do ar de sopro para o Alto forno. Para calcular esse aumento, utilizaram-se valores médios da temperatura de sopro a cada 20 minutos durante 12 meses (6 meses antes das melhorias e 6 meses após). Atestou-se estatisticamente, por teste de hipótese<sup>(2)</sup>, que a média da temperatura de sopro aumentou em  $54^{\circ}\text{C}$  após as melhorias. A Figura 7 mostra a evolução dessa variável ao longo dos meses.



**Figura 7.** Evolução da temperatura do ar de sopro.

## 4 CONCLUSÃO

O estudo aprofundado da operação, automação e características dos equipamentos industriais aliado às técnicas de controle de processos possibilita resultados de negócio interessantes para as empresas.

Para o caso dos aquecedores de ar tipo glendon, isolar a variável restrição da variável objetivo é uma boa prática na busca de uma melhor eficiência energética para o processo. Neste trabalho, com a utilização do duplo limite cruzado e a manipulação automática da relação ar/gás, alcançou-se uma redução de mais de 70% no número médio de paradas e um aumento de mais de 50°C na temperatura de sopro para o Alto forno.

## REFERÊNCIAS

- 1 ASSUNÇÃO, C.S. Glendon siderúrgico: Análise termodinâmica e modelagem matemática simplificada. 2006. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- 2 DRUMOND, F.B. Estatística Associada ao PIMS, 16-30 de nov. de 2010. 192 f. Notas de Aula.