

# IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA PARA GESTÃO DE PANEIAS E CONTROLE TÉRMICO DO AÇO NA ACIARIA DA V&M DO BRASIL<sup>(1)</sup>

Takeshi Fujii<sup>(2)</sup>  
Gabriel Lenna<sup>(3)</sup>  
Patrícia Sampaio<sup>(4)</sup>  
Christian Hahne<sup>(5)</sup>

## Resumo

O aumento na qualidade dos produtos gerados pela aciaria e da produtividade está relacionado ao controle da composição química e das temperaturas do aço. Uma variável importante e facilitadora para este tipo de controle é a condição e a disponibilidade das paineis para atendimento da demanda de produção da aciaria. Buscando um aumento de produtividade e qualidade de seus produtos, a V&M do Brasil iniciou um trabalho que visa adquirir conhecimento das condições térmicas e operacionais das paineis, a fim de garantir uma otimização no controle das temperaturas do aço na aciaria. Em seguida, serão apresentadas as estratégias adotadas para melhoria da logística de paineis da aciaria através de um sistema denominado "Tracking de Paineis". O controle de temperatura do aço apresentado neste trabalho tem como base, dados históricos do processo e informações adquiridas do sistema "Tracking de Paineis".

**Palavras-chaves:** Tracking de Paineis, Controle Térmico do aço, redes neurais, aciaria.

- 
1. Trabalho a ser apresentado no XXXVI Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais – ABM. Maio de 2005 – Vitória, ES. Brasil.
  2. Engenheiro Metalurgista, MSc., especialista na Metalurgia Primária e Secundária da V&M do Brasil.
  3. Engenheiro Controle e Automação, Engenheiro de Projetos da VAI Ingdesi Automation (VIA).
  4. Engenheira Eletricista, especialista em Automação da V&M do Brasil.
  5. Engenheiro Metalurgista, Dr., especialista na Logística de Aciaria da V&M do Brasil.

## **1 Introdução**

O aumento da produtividade e da qualidade dos produtos gerados pela aciaria está relacionado ao controle da composição química do aço e das temperaturas de lingotamento, entre outras variáveis.

Atualmente, na aciaria da V&M do Brasil, existem algumas restrições operacionais quanto à utilização de painéis, principalmente no que se refere à ciclos (vida da panela e seus componentes) como também à contaminações com elementos químicos. A restrição da vida da panela (ciclos), visa principalmente a segurança, e restringe a utilização destas em processos onde há exigências térmicas elevadas (Desgaseificação à Vácuo). Além das restrições operacionais acima citadas, a disponibilidade de painéis depende também de fatores associados às tarefas de manutenção da panela como troca de dispositivos, limite de campanha das painéis e tempos de pré-aquecimento.

Buscando maior produtividade e qualidade do aço, a V&M do Brasil iniciou um trabalho com o objetivo de conhecer as condições térmicas e operacionais das painéis para facilitar a tomada de decisões com relação a disponibilidade de painéis na aciaria, promovendo assim um melhor ajuste de temperatura do aço no Lingotamento Contínuo.

## **2 Tracking de Painéis e Controle Térmico na Aciaria da V&M do Brasil**

Para o desenvolvimento do projeto, definiu-se como objetivo principal um melhor ajuste de temperatura do aço durante o refino secundário para fornecimento de aços com temperaturas adequadas ao Lingotamento Contínuo. Dentre os vários fatores determinantes da temperatura do aço, a perda por transferência de calor do banho para o refratário é considerada uma das mais importantes, estando diretamente associada às condições da panela. Dentre as variáveis que interferem na condição térmica da panela, foram analisadas tempo de vida, tempo de residência do aço na corrida anterior, tempo de circulação sem aço e utilização de aquecedores durante a circulação. O sistema de “Tracking de Painéis” é capaz de coletar e armazenar variáveis que podem classificar o estado térmico ou operacional de uma panela na aciaria.

Além da importância para o Controle Térmico, o sistema “Tracking de Painéis” possui a capacidade de planejar a disponibilidade das painéis na aciaria, de acordo com as restrições operacionais da aciaria.

### **2.1 Tracking de Painéis**

No sistema atual de logística de painéis, as informações relativas ao controle das painéis na aciaria se encontravam centralizadas entre os setores da Preparação de painéis e Logística de Produção, sendo que as demais áreas de produção não tinham acesso direto às informações. A centralização e a falta de armazenamento de algumas informações de processo dificultavam a definição de estratégias para a utilização de painéis conforme a programação de produção da aciaria. O sistema

“Tracking de Painelas” tem como função obter de forma rápida e confiável dados relativos às condições das painelas, sua localização, disponibilidade, estado térmico e otimização de sua utilização.

## **2.2 Planejamento de Painelas**

A Aciaria da V&M do Brasil tem em seu estoque produtivo 10 painelas com a função de armazenar temporariamente o aço a ser fabricado. As painelas fora do ciclo devem estar em manutenção (preventiva ou corretiva), em processo de demolição do revestimento refratário, aquecendo no gás ou com revestimento novo. Toda painela deve ser retirada de circulação caso a campanha alcance 75 corridas.

As dificuldades relativas ao planejamento das painelas que entram no ciclo de produção, somadas ao planejamento de manutenção preventiva, ou programada, são os principais problemas encontrados pelos responsáveis da área de programação e preparação de painelas.

A necessidade de visualizar o estado futuro dos fluxos de processo na aciaria e verificar a disponibilidade de painelas, existe principalmente quando a necessidade de corridas processadas no VD (desgaseificação à vácuo), onde painelas não devem ultrapassar 45 corridas. As informações relativas às painelas armazenadas através do sistema de “tracking de painelas”, facilitam o trabalho de tomada de decisões e permitem o planejamento de utilização das painelas na aciaria em função da programação de produção, sugerindo uma seqüência de trabalho para as painelas (dentro e fora do ciclo) e permitindo modificações em casos não previstos.

## **2.3 Monitoramento de Painelas**

Além de administrar a informações das painelas em utilização na aciaria, conhecendo a todo momento sua localização, o tracking disponibiliza informações para monitoramento das painelas. Estas funções permitem a visualização do estado atual das painelas e seus dispositivos.

As principais informações relacionadas as painelas são:

- Estado (Ciclo / Gás / Fora de Ciclo);
- Localização (convertedor LD / Forno Painela / VD / Rinsagem / Lingotamento Contínuo / Aquecedores / Preparação / Manutenção);
- Vida da Painela;
- Minutos com Aço;
- Número da Campanha;
- Condição Térmica (Encharque);
- Adições de material durante o processo;
- Medições de temperatura durante o processo;
- Borbulhamento de argônio durante o processo.

As principais informações relacionadas aos dispositivos são:

- Vida do dispositivo;
- Tempo com aço;

- Número de corridas até a próxima troca
- Número de minutos até a próxima troca.



Figura 1. Tela de Localização das Painéis na Aciaria.

## 2.4 - Manutenção de Painéis

Uma das dificuldades encontradas pelo setor de Preparação de painéis é estabelecer uma previsão satisfatória de entrada e saída de painéis no ciclo produtivo, considerando as necessidades de reparo. Para definir a disponibilidade de uma panela é necessário estimar os momentos de saída e retorno das painéis ao ciclo. Para isso, é essencial um plano de manutenção com tempos de execução reais. O tracking controla a manutenção das painéis permitindo que a equipe de preparação crie planos de manutenção para as painéis que estão saindo do ciclo. Durante o ciclo, as painéis seguem um padrão para troca de dispositivos através da configuração de sua vida útil. Através dos registros de trocas e padrões cadastrados, o sistema é capaz de prever o momento das próximas trocas, alertando a equipe de preparação das painéis. Manutenções corretivas durante a campanha também são lançadas no sistema para a geração de relatórios (Figura 2).

Estado Atual dos Dispositivos da Painel

Parte painel	Tipo dispositivo	Fabricante	LD	FP	VD	RS	LC	Nº de Corrid	Tempo com Aço(mir	Restante(corridas)	Restante(minutos)
Placa deslizante	Placa deslizante	Vesúvius	4	5	0	1	4	4	383	???	???
Placa fixa	Placa fixa	Vesúvius	4	5	0	1	4	4	383	???	???
Plug 1	Plug	Vesúvius	11	12	4	1	11	11	1303	4	197
Plug 2	Plug	Vesúvius	11	12	4	1	11	11	1303	4	197
Sede de válvula	Sede de válvula	Magnesita	1	2	0	1	1	1	28	74	7472
Subplug 1	Subplug	Vesúvius	11	12	4	1	11	11	1303	???	???
Subplug 2	Subplug	Vesúvius	11	12	4	1	11	11	1303	???	???
Válvula interna	Válvula interna	Vesúvius	9	10	4	1	9	9	1150	-1	-350

Figura 2. Estado Atual dos dispositivos da Painel.

### **3 Controle Térmico**

O controle de temperatura na aciaria da V&M do Brasil é um trabalho que se encontra em desenvolvimento. No início do projeto, durante o levantamento das variáveis de maior influência para o controle, verificou-se a importância do sistema “Tracking de Painelas” no que se refere à possibilidade de fornecer dados do perfil térmico de cada panela disponível.

#### **3.1 Metas para o Controle Térmico**

Na busca por um controle apurado da temperatura do aço foram definidos como metas os seguintes pontos:

- Informar a condição térmica da panela no momento do despejo do aço.
- Estimar a temperatura de liberação adequada do Forno Panela para o Lingotamento contínuo.
- Estimar a temperatura de liberação adequada do Forno Panela para o Lingotamento contínuo para corridas via VD e RINSAGEM.

#### **3.2 Estratégia de Controle**

Com a crescente expansão da informação e a disponibilidade para armazenamento de dados de forma simples, rápida e de baixo custo, a coleta de dados do processo por longos períodos tornou possível o entendimento da dinâmica de determinados tipos de processo, através da descoberta de padrões não conhecidos nos dados. Atualmente, a aciaria da V&M do Brasil possui sistemas de supervisão instalados em cada um dos equipamentos da aciaria. Os dados históricos são armazenados em bancos de dados locais durante um período de aproximadamente 2 anos. Após isso, os dados são disponibilizados no sistema MES, possuindo históricos de até 5 anos. Desta forma, a estratégia de controle adotada se baseia na análise dos dados de processo através de ferramentas computacionais automatizadas. Estas ferramentas utilizam técnicas de mineração de dados para revelar informações e padrões não conhecidos nos dados coletados, podendo também serem utilizadas em outras áreas.

#### **3.3 Estado Térmico das Painelas**

O sistema “Tracking de Painelas” permite a coleta de informações associadas ao ciclo térmico das painelas, de tal forma que no momento do despejo do aço na panela é possível conhecer pontos de influência no estado térmico de uma panela. A quantificação destes pontos será feita a partir da determinação de uma função capaz de relacionar a temperatura de saída da panela dos aquecedores, os tempos de aquecimento e resfriamento da panela após o lingotamento contínuo. Para painelas fora do ciclo, serão observados os tempos de pré-aquecimento, a temperatura final de aquecimento da panela e a vida da panela. Para painelas do ciclo, serão considerados os tempos de preparação e espera da panela após o lingotamento contínuo, o

número de corridas em que a panela permanece no ciclo, o tempo com aço e a vida da panela.

A condição térmica de uma panela será representada através de um índice entre 0 e 1, sendo que o valor 0 é a condição mais crítica e o valor 1 a situação onde o aço perderá menos temperatura quando armazenado na panela. Para determinação deste índice, estão sendo observadas algumas condições de processo relacionadas à evolução térmica do aço líquido.

Dentre as condições de processo observadas, pode-se citar:

- Perda térmica do aço entre o LD e o Forno Panela.
- Variação térmica do aço nos primeiros minutos de aquecimento no Forno Panela.
- Variação térmica do aço entre o forno panela e o lingotamento contínuo.

Observando o comportamento térmico do aço líquido associado às condições operacionais da panela espera-se determinar valores ou pesos para cada um dos pontos de influência do estado térmico da panela, tornando possível a classificação da condição térmica de cada panela.

### **3.4 Controle Térmico da Aciaria**

Para garantir um bom controle da temperatura do aço na aciaria é necessário estimar as perdas térmicas ocorridas nos equipamentos de metalurgia secundária e definir temperaturas ótimas de liberação para cada um dos equipamentos do processo. O modelo trabalha seguindo dois fluxos de processo: o primeiro e mais simples é para corridas que saem do Forno Panela direto para o Lingotamento Contínuo; o segundo é para corridas via VD e rinsagem.

Para o primeiro fluxo, a temperatura de liberação do Forno Panela pode ser determinada através de uma função que relaciona a temperatura de liberação do Forno Panela com a temperatura objetivada para o distribuidor, temperatura do aço no distribuidor, ordem da corrida dentro da seqüência, tempo de espera entre o Forno Panela e o Lingotamento, e a condição térmica da panela.

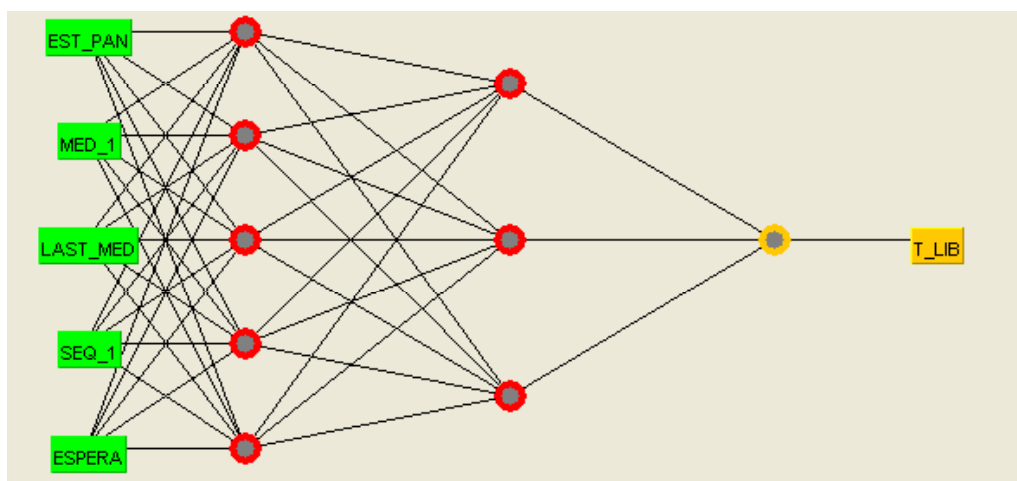
Para o segundo fluxo considera-se a mesma relação acrescida das perdas térmicas no VD e na rinsagem. Para ambos os fluxos espera-se determinar as perdas nos equipamentos e a função da temperatura de liberação através de técnicas de mineração de dados. Atualmente, as panelas de aço na V&M do Brasil tem sua condição térmica classificada apenas com relação a sua origem operacional: “GÁS” para panelas vindas dos aquecedores e “CICLO” para panelas em ciclo operacional. Desta forma, o modelo ainda não conta com a informação referente à condição térmica da panela (encharque).

### **3.5 Temperatura de Liberação FP - LC**

Para determinação de um modelo que estima as temperaturas de liberação do Forno Panela para o Lingotamento Contínuo, foram avaliadas algumas técnicas de

mineração de dados, tais como: redes neurais, regressão múltipla e árvore de decisão. Entre elas, a de melhor resultado foi baseada em redes neurais artificiais. A rede neural escolhida foi uma rede MLP (multilayerperceptron) com algoritmo de aprendizagem backpropagation, possuindo duas camadas, utilizando cinco neurônios na primeira camada e três na segunda.

Para o treinamento da rede e levantamento do modelo foram utilizados dados coletados nos bancos de produção da aciaria. Nesta primeira análise, foram observadas aproximadamente 2400 corridas.



**Figura 3.** Configuração da rede neural

As variáveis de entrada no modelo neural desenvolvido que estima a temperatura de liberação do aço do Forno Panela para o Lingotamento Contínuo, são:

- Estado da Panela (Gás / Ciclo);
- Temperatura objetivada para o distribuidor;
- Última medição de temperatura no distribuidor;
- Ordem da corrida na seqüência;
- Tempo de espera entre o Forno Panela e o Lingotamento contínuo.

O modelo implementado apresentou os seguintes resultados (Tabela 1):

**Tabela 1.** Tabulação dos resultados obtidos pelo modelo implementado.

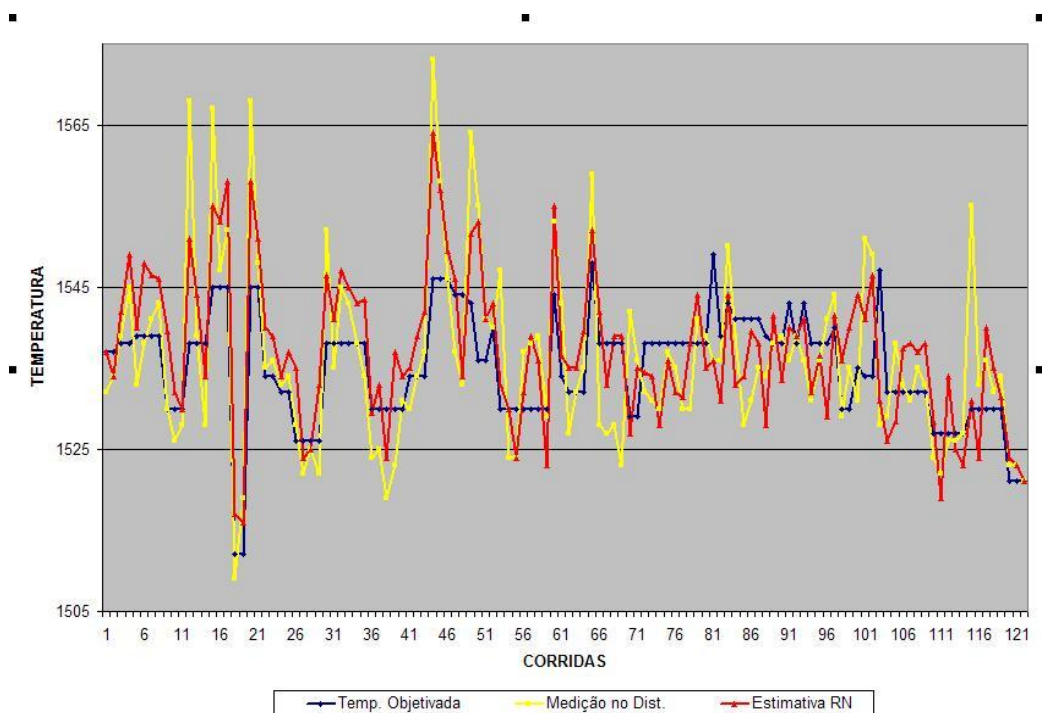
Desvio Padrão	6.35 °C
Erro Máximo	18.00 °C
Erro Mínimo	-16.00 °C
Amplitude	34.00 °C
Erro Médio Absoluto	5.54 °C

O Gráfico 1 (Figura 4) apresenta dados comparativos entre o controle realizado pelo operador e o valor estimado pelo modelo neural implementado:

A linha azul representa a temperatura objetivada no distribuidor, a linha amarela o controle realizado pelo operador e a linha vermelha uma estimativa da temperatura do



distribuidor caso a temperatura de liberação do Forno Panela fosse a sugerida pelo modelo baseado em rede neural.



**Figura 4.** Gráfico comparativo dos resultados do controle térmico.

A tabela abaixo mostra dados comparativos entre o controle do operador e o modelo térmico:

**Tabela 2.** Comparação dos resultados: RN x Operador.

	Rede Neural	Controle Operacional
Desvio Padrão (°C)	6.35	8.91
Erro Máximo (°C)	18.00	30.00
Erro Mínimo (°C)	-16.00	-19.00
Amplitude (°C)	34.00	49.00
Erro Médio Absoluto (°C)	5.54	6.57

## 4 Resultados

Com a implantação do sistema de gestão e logística das painelas e as etapas iniciais do controle térmico foram obtidos os seguintes resultados:

- Otimização da disponibilidade de painelas para produção;
- Melhoria do controle de manutenção dos dispositivos das painelas;
- Controle da logística das painelas, baseado em regras de utilização;
- Melhoria no ajuste das temperaturas de liberação do Forno Panela para o Lingotamento contínuo.

Com o complemento das etapas do controle térmico espera-se os seguintes resultados:

- Otimização do consumo energético do Forno Panela;
- Aumento da produtividade durante o Lingotamento Contínuo;



- Melhoria da qualidade do produto lingotado;
- Redução de paradas por rompimento e *freezing*;
- Determinar a condição térmica das panelas;
- Otimizar as temperaturas de liberação do Forno Panela para o Lingotamento Contínuo para corridas via VD e RINSAGEM

## 5 Conclusão

Com a implantação do sistema Tracking de Panelas, pôde-se perceber os ganhos com planejamento e controle da logística das panelas, aumento da disponibilidade das panelas, com um melhor controle sobre a manutenção das mesmas, segurança e histórico de dados para análise de problemas e desempenho das panelas e dispositivos.

Os resultados obtidos até o momento com o controle térmico demonstram que o resultado do modelo neural apresenta um ganho em relação ao controle do operador tanto em relação ao valor médio do erro, quanto ao desvio padrão do valor de temperatura de liberação estimada. No entanto, a rede neural apresentada ainda não possui informação confiável de estado térmico das panelas, visto que considera apenas a origem da panela CICLO / GÁS. Após a classificação das panelas quanto a seu estado térmico, espera-se a obtenção de melhores resultados, possibilitando a otimização de tempo de processo e consumo energético, além da garantia da qualidade do aço, com a redução da variabilidade de velocidade do Lingotamento Contínuo.

## Referência Bibliográficas

- 1 FERREIRA, N. F. **Controle da temperatura do aço líquido em uma aciaria elétrica**. 2000, 127p. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- 2 HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- 3 WITTEN, I. H. **Data Mining: practical machine learning tools and techniques with Java implementations**. New Zeland: University of Waikato, 1999.

# LADLE MANAGEMENT AND THERMAL CONTROL OF THE STEEL IN THE ACIARIA OF THE V&M OF BRAZIL

## **Abstract**

The increase in the product quality and the productivity in the steel plant are related to the control of the chemical composition and the temperatures of the steel. An important variable for this type of control is the condition and the availability of ladles for attendance the production demand of the steel plant. Searching an increase of productivity and quality of its products, the V&M of Brazil initiated a work that it aims at to acquire knowledge of the thermal and operational conditions of ladles, in order to guarantee the improvement of temperature control of the steel. After that, the strategies adopted for improvement of the ladle logistic will be presented through a called system "Ladle Tracking". The control of temperature of the steel presented in this work has as base, given by historical of the process and acquired information using the "Ladle Tracking" system.

**Key-words:** Ladle tracking, Steel thermal control, neural network, steel plant.