

CONTROLE TÉRMICO DO AÇO NA ACIARIA DA V&M DO BRASIL¹

*Takeshi Fujii²
Gabriel Lenna³
Patrícia Sampaio⁴
Leonardo Muradas⁵*

Resumo

O aumento da produtividade e qualidade dos produtos gerados pela aciaria está relacionado ao controle da composição química e das temperaturas do aço. As variáveis importantes e facilitadoras para este tipo de controle são a condição térmica das panelas no ciclo de produção, as perdas térmicas ocorridas nos equipamentos de processo e as perdas ocorridas durante os tempos de transporte do aço líquido. 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 das panelas e conhecer as perdas térmicas ocorridas em cada um de seus equipamentos para garantir um melhor controle das temperaturas do aço principalmente durante a etapa de lingotamento contínuo. Em seguida, serão apresentadas as estratégias e soluções adotadas para melhorar o controle de temperatura do aço na aciaria, utilizando como base, Redes Neurais e Lógica Fuzzy para a construção de modelos. Os modelos são capazes de estimar as perdas térmicas no processo e sugerir a melhor temperatura de liberação do Forno Panela para os equipamentos seguintes do processo em função das condições operacionais da Planta.

Palavras-chave: Controle térmico do aço; Redes neurais; Aciaria; Lógica Fuzzy.

¹ Trabalho a ser apresentado no IX Seminário de Automação de Processos – 05 a 07 de Outubro de 2005 Curitiba, PR. 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 Mecatronico, Engenheiro de Projetos da VAI Ingdesi Automation (VIA).

1 INTRODUÇÃO

Dentre as variáveis de processo existentes em qualquer Aciaria do mundo, provavelmente a temperatura do aço seja aquela que promove uma das maiores interferências na produtividade do setor. Além deste aspecto, ter um controle apurado desta temperatura garante a melhoria da qualidade do aço além da redução de custos. O controle de temperatura na aciaria da V&M do Brasil é um trabalho que se encontra ainda em desenvolvimento. No início do projeto, um levantamento prévio das variáveis de maior influência para este controle mostrou que o conhecimento da condição térmica das Painéis é essencial para o trabalho, já que as perdas térmicas por transferência de calor do banho metálico para as paredes refratárias da panela influenciam nas variações de temperatura do aço. No processo de produção do aço na aciaria da V&M, o Forno Painel é o último equipamento do fluxo capaz de fazer ajustes de temperatura; desta forma ter uma boa estimativa das perdas térmicas provocadas pelos equipamentos seguintes no fluxo de produção, assim como estimar as perdas provocadas durante os tempos de transporte da panela são pontos essenciais para um melhor ajuste da temperatura do aço líquido durante todo o processo.

2 METAS PARA O CONTROLE TÉRMICO NA ACIARIA DA V&M DO BRASIL

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

1 – Informar a condição térmica da panela no momento do despejo do aço do Convertedor (LD) para a panela.

2 – Estimar qual a temperatura de liberação adequada do Forno Painel para o Lingotamento Contínuo em função do histórico térmico da panela, velocidade de lingotamento e tempo estimado entre o fim do Forno Painel e o início do lingotamento.

3 – Estimar qual a temperatura de liberação adequada do Forno Painel para o Lingotamento Contínuo para corridas via Desgaseificador a Vácuo (VD) e Rinsagem (RS) em função do histórico térmico da panela, perdas térmicas ocorridas no VD, perdas térmicas ocorridas na RS e o tempo estimado entre o fim do Forno Painel e o início do lingotamento.

3 ESTRATÉGIA DE CONTROLE

De forma geral, os fenômenos térmicos que ocorrem durante a produção do aço na aciaria permitem utilizar soluções para este tipo de controle através de diferentes modelos; tais como matemáticos e físicos. Com a crescente expansão da informação e a disponibilidade para armazenamento de dados de forma simples e barata, a coleta de dados de processo se tornou uma ótima forma de se obter vantagens competitivas, os quais podem facilitar o entendimento da dinâmica de um determinado tipo de processo. Atualmente, a aciaria da V&M do Brasil conta com boas ferramentas para monitoramento de informações através de seus sistemas de supervisão instalados em cada um dos equipamentos da aciaria e armazenamento de informações de processo através de seus bancos de dados. A disponibilidade da utilização de ferramentas para coleta de dados de processo associado a um sistema

para coleta de informações associadas as condições operacionais das painelas permitiu traçar uma estratégia de controle baseada na análise dos dados de processo através de ferramentas computacionais automatizadas. Estas ferramentas são tecnologias usadas para revelar informações estratégicas escondidas em massas de dados. Além destas ferramentas procurou-se também trabalhar com análise estatística de dados de processo e o conhecimento heurístico dos operadores e engenheiros de processo da V&M do Brasil.

4 CONDIÇÃO TÉRMICA DAS PAINELAS

Na aciaria da V&M do Brasil, um sistema de tracking de painelas permite a coleta de informações associadas à condição térmica das painelas, de forma que no momento do despejo do aço é possível conhecer variáveis de influencia no estado térmico de uma painela. Foi desenvolvido um modelo heurístico implementado através de Lógica Fuzzy capaz de quantificar estas variáveis, relacionando tempos de pré-aquecimento, temperatura final de aquecimento da painela e o tempo de espera da painela após o fim de aquecimento para painelas fora de ciclo. Já para painelas do ciclo ou em produção, são considerados os tempos de preparação da painela após o lingotamento contínuo, o número de corridas em que a painela permanece no ciclo e o tempo total em que a painela esteve com aço durante a última corrida.

A condição térmica de uma painela é representada através de um índice de 0 a 100, sendo que o valor zero é a condição mais crítica e o valor cem representa a situação onde o aço perderia menos temperatura enquanto armazenado na painela.

4.1 Parâmetros de Maior Influência para A Condição Térmica Das Painelas

A seguir segue os parâmetros de maior influência na condição térmica de uma painela:

Tempo Com Aço - Tempo total da painela com aço durante a última corrida.

Tempo Sem Aço - Tempo total da painela sem aço após o término de uma corrida.

Seqüência Ciclo – Contador iniciado após a entrada da painela no ciclo. Caso esta painela permaneça fora do ciclo por mais de 90 minutos, este contador é interrompido.

Tempo de Gás – Tempo total da painela em aquecimento

Tempo de Gás Proporcional – Tempo total de aquecimento em relação ao tempo sem aço da painela.

Temperatura de Gás – Valor da última temperatura da painela medida no aquecedor.

Tempo fora do Gás – Tempo total em que a painela se encontra fora do gás, após passar pelo aquecedor.

4.2 Levantamento do Modelo

Avaliando os dados históricos de cada um dos parâmetros, foram verificados valores médios, máximos e mínimos e foram também analisados padrões operacionais utilizados pelos operadores do setor de preparação de panelas para definição das funções de pertinência do modelo.

A Lógica Fuzzy tem o objetivo de ser uma técnica capaz de generalizar o raciocínio natural humano através da construção de sistemas artificiais. Todo o conhecimento heurístico do modelo está definido através de regras determinadas por meio de variáveis de entrada representadas de uma forma lingüística relacionadas a uma saída também representada de forma lingüística. As funções de pertinência estabelecem uma interface entre os dados descritos simbolicamente (com as palavras) e numericamente (com algarismos).

Abaixo segue um esquema representativo do funcionamento do modelo:

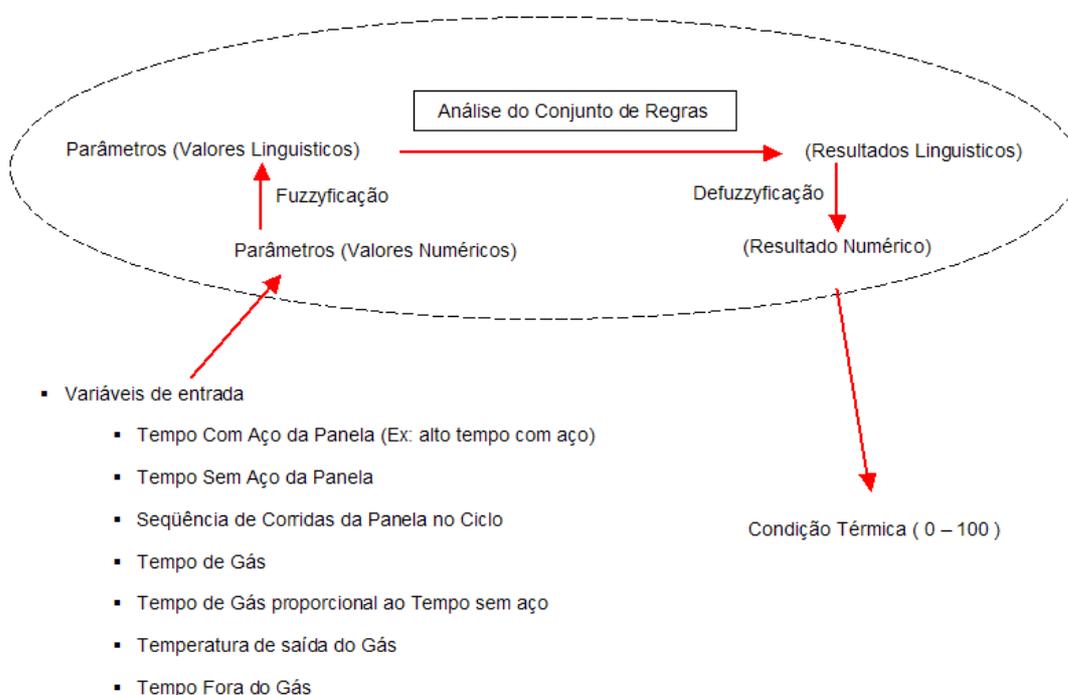


Figura 1. Esquema de Funcionamento do Modelo Fuzzy.

Para que o conhecimento heurístico fornecido pelos operadores e engenheiros de processo possa ser interpretado pelo sistema, é preciso seguir as seguintes etapas:

1. Fazer a leitura dos valores numéricos de cada uma das variáveis de entrada do modelo.
2. Transformar as entradas numéricas em entradas lingüísticas; Processo de Fuzzyficação.
3. Verificar dentro do conjunto de regras quais foram ativadas, e através de um método de Inferência, determinar um resultado lingüístico.

4. Transformar o resultado lingüístico em uma saída numérica através de um processo de Defuzzyficação, determinando um índice de 0-100 que classifica a condição térmica de uma panela.

5 CONTROLE TÉRMICO DA ACIARIA

Para garantir um bom controle da temperatura do aço na aciaria é necessário estimar as perdas térmicas durante as etapas de fabricação 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 e vão direto para o Lingotamento Contínuo; o segundo é para corridas via Desgaseificador a Vácuo (VD) e Rinsagem (RS).

Para o primeiro fluxo, a temperatura de liberação do Forno Panela é determinada através de uma função que estima a temperatura de liberação do Forno Panela em função da temperatura objetivada para o distribuidor no lingotamento, temperatura do aço no distribuidor, posição da corrida dentro da seqüência, tempo de espera da panela 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 Desgaseificador a Vácuo (VD) e na Rinsagem.(RS). Para ambos os fluxos, espera-se determinar as perdas nos equipamentos e a função da temperatura de liberação do Forno Panela (FP) através de Redes Neurais Artificiais. 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, apesar do uso do modelo Fuzzy pelos operadores da área de preparação de panelas para verificar a condição térmica das mesmas; ainda não existe um histórico de processo suficiente associado ao índice de condição térmica da panela para que um modelo baseado em redes neurais possa utilizar este parâmetro como uma de suas entradas. A utilização deste índice como um dos parâmetros de entrada dos modelos de controle de temperatura é uma das etapas seguintes do projeto.

5.1 Temperatura de Liberação do Forno Panela para o Lingotamento Contínuo

Para determinação do modelo que estima as temperaturas de liberação do Forno Panela para o Lingotamento Contínuo, foram avaliadas algumas técnicas, 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, sendo cinco neurônios na primeira camada e três na segunda.

Para o treinamento da rede e levantamento do modelo, foi utilizado o software WEKA da universidade de Waikato Nova Zelândia e foram analisados dados coletados nos bancos de produção da aciaria. Foram observadas aproximadamente 2400 corridas, sendo 72 % dos dados para treinamento os demais utilizados para validação do modelo.

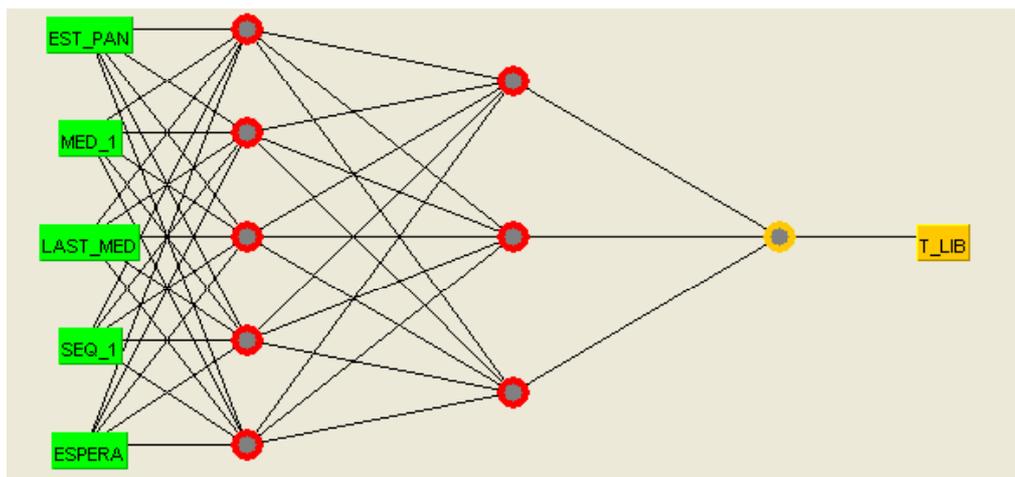


Figura 2. Configuração da rede neural.

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 térmico da panela;
- Temperatura objetivada para o distribuidor;
- Última medição de temperatura no distribuidor;
- Posição da corrida na seqüência;
- Tempo de espera entre o Forno Panela e o Lingotamento contínuo.

O modelo implementado apresentou os seguintes resultados no teste de validação (Tabela 1):

Tabela 1. Tabulação dos resultados obtidos pelo modelo implementado.

Correlação	0.87
Desvio Padrão	5.86 °C
Erro Médio Absoluto	4.27 °C

O gráfico 1 (Figura 3) 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.

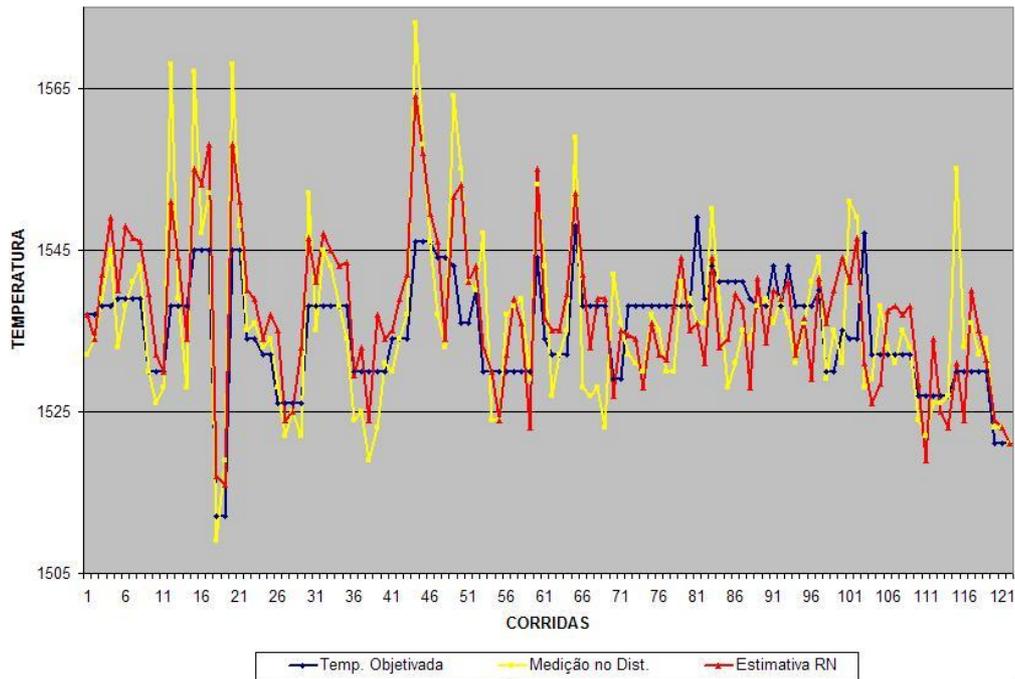


Figura 3. Gráfico comparativo dos resultados do controle térmico.

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 Médio Absoluto (°C)	5.54	6.57

O comparativo demonstra que o controle resultado pela rede neural já apresenta um ganho em relação ao controle do operador tanto quanto ao valor médio do erro observado quanto ao desvio padrão apresentado; porém a rede neural apresentada ainda não conta com uma informação confiável com relação ao estado térmico das painéis considerando apenas a origem da panela CICLO / GÁS. Após a classificação das painéis quanto a seu estado térmico, espera-se obter melhores resultados.

5.2 Próximas Etapas do Controle Térmico

Para seqüência do projeto de controle térmico estão planejadas as seguintes atividades:

- Utilização do índice de condição térmica das painéis (0-100) com variável de entrada dos modelos de Controle de Temperatura.
- Integração da rota Desgaseificador a Vácuo (VD) e Rinsagem (RS) no Controle de Temperatura.

6 RESULTADOS

Com a implantação das etapas iniciais do controle térmico foram obtidos os seguintes resultados:

- Melhoria no ajuste das temperaturas de liberação do Forno Panela para o Lingotamento Contínuo.
- Determinação de um índice (0-100) capaz de quantificar a condição térmica das painelas.

Com o complemento das etapas do controle térmico são esperados 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*;
- Otimizar as temperaturas de liberação do Forno Panela para o Lingotamento Contínuo para corridas via Desgaseificador a Vácuo (VD) e Rinsagem (RS).

7 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos até o momento com o controle térmico permitem aos operadores da área de preparação de painelas um maior controle de sua condição térmica através do índice de condição térmica (0-100) e 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 utiliza apenas a informação de origem da painela CICLO / GÁS como parâmetro relacionado à condição térmica da painela. Após a inclusão do índice (0-100) como parâmetro de entrada dos modelos, 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*. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais – PPGEM, UFRGS. Porto Alegre, Abril de 2000. 127p
- 2 HAYKIN, S. *Redes Neurais – Princípios e Prática*. Trad. Paulo Martins Engel – 2ª edição – Porto Alegre: Bookman, 2001.
- 3 WITTEN, I. H. *Data Mining – Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations*. University of Waikato, New Zeland, 1999.
- 4 SAITO KAKU, C. M. *Sistemas Inteligentes em Controle e Automação de Processos*.

STEEL THERMAL CONTROL IN THE STEEL PLANT OF V&M DO BRASIL

*Takeshi Fujii
Gabriel Lenna
Patrícia Sampaio
Leonardo Muradas*

Abstract

Increasing of the product quality and productivity in the steel plant are related to the control of chemical composition of the steel and its temperatures. Searching an increase on productivity and quality of its products, V&M do Brasil has been working to acquire knowledge of ladles' thermal conditions, in order to better control the steel temperature. The strategies that have been used are based on Neural Networks and Fuzzy Logic. This solution is to predict an optimum temperature at the end of Ladle Furnace, supplying the continuous casting with ideal temperatures during the whole process.

Key-words: Steel thermal control; Neural network, Fuzzy logic.