

# REDUÇÃO DO RETORNO DE AÇO DO LINGOTAMENTO CONTÍNUO POR PERDA TÉRMICA DAS PANEIS DE AÇO<sup>1</sup>

*Haysler Apolinário Amoroso Lima<sup>2</sup>*

*Geraldo Afonso Ferreira Filho<sup>3</sup>*

*Nélio José Heleno<sup>4</sup>*

*Heráclito Alexandre Santos<sup>5</sup>*

*Marcelo Gonçalves Teixeira Junior<sup>6</sup>*

*Éderson Natalino de Souza<sup>7</sup>*

## **Resumo**

Devido ao grande problema referente a queda de temperatura do aço que implica em perdas no processo, veio a necessidade deste estudo para identificar a causa raiz do problema. Utilizando a metodologia de análise e solução de problemas – PDCA, foram identificado e estabelecido metas para o combate do problema. O encharque da panela de aço, caracterizado pelo ciclo da panela, vida do revestimento e tempo de permanência com aço, fornece-nos uma referencia mais exata da real situação térmica da panela. Através de observações em campo e análise de bancos de dados foi possível criar modelos matemáticos precisos para previsibilidade e tomada de ação quanto ao risco da perda térmica. A montagem de uma plataforma de cálculo na área de panela no momento do vazamento, permitiu identificar as causas da queda de temperatura. Identificando os fenômenos de perda térmica foi possível elaborar um plano de ação para a busca da melhoria contínua quanto ao isolamento térmico e otimização do aquecimento das panelas. Compreender que a perda não é linear, ou seja, que depende das etapas do ciclo, foi vital para estabelecermos os pontos de atuação, tais como: área de panela, tempo de aquecimento e a espera para o vazamento.

**Palavras-chave:** Índice de encharque; PDCA; Painéis de aço.

## **REDUCTION OF STEEL RETURN IN INGOT CASTING FOR THERMAL LOSS OF STEEL LADLES**

### **Abstract**

Due to the great problem regarding loss of temperature of the steel that implicates in losses in the process, the need of this study came to identify the cause root of the problem. Using the methodology of it analyzes and solution of problems–PDCA, they were identified and established goals for the combat of the problem. Heat contain of the steel ladle, characterized by the cycle of the ladle, campaign of the refractory and time of permanence with steel, it supplies us a more exact reference of the real thermal situation of the ladle. Through observations in area and analyze of databases it was possible to create necessary mathematical models for check and action to reduce the thermal loss. The assembly of a calculation platform in the ladle area in the moment of the heat allowed identifying the causes of the temperature fall. Identifying the phenomena of thermal loss was possible to elaborate an action plan for the search of the continuous improvement with relationship to the thermal isolation and improve of the heating of the ladle. To understand that the loss is not linear, that it depends on the stages of the cycle, it vital was goes us to establish the points of performance, such the: ladle area, heating time and the wait for pouring.

**Key words:** Heat contain index; PDCA and steel ladle.

---

<sup>1</sup> Trabalho apresentado no XXXVII Seminário de Aciaria - Internacional, 21 a 24 de maio de 2006, Porto Alegre, RS

<sup>2</sup> Engenheiro Metalurgista – Desenvolvimento Técnico/Refratários – Gerdau Açominas

<sup>3</sup> Engenheiro Metalurgista – Desenvolvimento Técnico/Refratários – Gerdau Açominas

<sup>4</sup> Técnico de Processo – Desenvolvimento Técnico/Refratários – Gerdau Açominas

<sup>5</sup> Técnico de Processo – Facilitador de Célula de Refratários – Gerdau Açominas

<sup>6</sup> Engenheiro Mecânico – Desenvolvimento Técnico/Manutenção – Gerdau Açominas

<sup>7</sup> Estudante do 9º Período de Engenharia Metalúrgica - UPOP

## 1 INTRODUÇÃO

Para o processo de fabricação do aço o controle das perdas térmicas é de vital importância para a melhoria do processo. Desde a redução do número de retorno de aço do lingotamento contínuo à redução do elevado consumo de eletrodos do forno panela.

Cerca de 80% das perdas térmicas do Aço dentro da panela se dá pela superfície da parede refratária<sup>(1)</sup> e o restante se dá pelo topo através da escória. Ou seja, dependendo do estado térmico das panelas (INDICE DE ENCHARQUE – IE) teremos maior ou menor perda da temperatura.

O estado térmico das panelas é função do seu ciclo (tempo sem aço), da sua estratificação no ciclo (aquecendo ou esperando para vaziar), vida do revestimento, materiais com ou sem isolamento e o tempo com aço.<sup>(2)</sup> A boa otimização destas variáveis acarretará num maior controle térmico do processo.

Estudos anteriores realizados com o banco de dados da GERDAU AÇOMINAS, correlacionando o número de ocorrências com o aumento do ciclo não apresentou correlação direta, ou seja, havia mais variáveis que não foram modeladas. É bem verdade que o aumento do ciclo aumenta a perda térmica, porém este fator vai depender do IE e de como foi o processo da panela durante o tempo que ficou sem aço. Com isso surgiu este trabalho que consistiu no acompanhamento de campo durante o ciclo das panelas, registrando cada etapa do ciclo e avaliando o seu comportamento térmico.

O modelo matemático do resfriamento e aquecimento servirá de base para a previsibilidade do comportamento térmico da panela ao longo do seu ciclo. De acordo com o IE, característica intrínseca da cada panela, servirá para prever quanto uma panela precisa aquecer ou qual panela seria a mais correta para vaziar ou mesmo ser retirada de operação em casos de redução de produtividade dos convertedores.

Outro fator da perda, se refere ao isolamento. A correta utilização de tampas durante o processo com ou sem aço contribui de maneira ótima no controle térmico. Parâmetros como a correta utilização de materiais de cobertura como palha de arroz e vermiculita, auxiliam na redução das perdas, desde que as mesmas apresentam uma boa espalhabilidade.

A relação ótima do número de panelas dentro do ciclo, é de vital importância para o controle do ciclo. É fato que a redução do número de panelas em operação reduz o ciclo, pois haverá uma maior rotatividade das panelas, porém o pequeno número aumenta o risco operacional.

Parâmetros como logística, ampliação da área de panela e investimento de novos aquecedores, serão de grande valia para o controle térmico do processo.

## 2 MODELOS MATEMÁTICOS

Os modelos matemáticos foram montados através da análise estatística dos resultados coletados em campo para avaliar o comportamento de resfriamento ao longo do ciclo atrelado também a sua vida. Outro modelo foi a avaliação da taxa de aquecimento dos aquecedores Tipo 1 e Tipo 2.

O Índice de Encharque é uma grandeza que correlaciona a vida do refratário, o tempo que ficou sem aço e o tempo com aço.

### Equação do Resfriamento

Para a montagem deste modelo, foram levadas em consideração as temperaturas da linha de escória ao longo do tempo sem aço (ciclo) e a relação com a vida da panela. Foi observado que a perda térmica é maior quanto à panela está na vertical e é mais acentuada no início quando se retira a tampa.

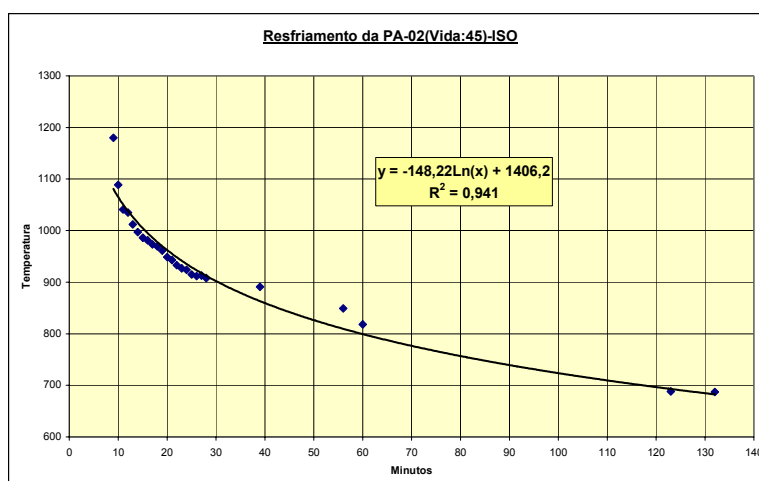


Figura 1. Perfil de Resfriamento da parede Refratária da LE da PA-02 (vida=45)

De acordo com a equação geral de logaritmo temos, que:

$T(t) = a + b \cdot \ln(t)$ , onde a e b, são constantes.

De acordo com a vida o valor “a” vai mudar, ou seja, a curva vai alterar somente a posição para cima ou para baixo.

A Equação Geral será:  $T(t) = -148,22 \ln(t) + a$ , onde “a” vai depender da vida da panela.

Estes valores foram calculados pelo ajuste dos testes comparativos com a equação inicial para vida de 45. Foram feitas simulações correlacionando a vida com o resultado.

### Taxa de Aquecimento

A taxa de aquecimento é variável, dependendo do tipo de aquecedor. Geralmente ela é função do estado térmico da panela, da vida e das faixas de temperatura. Ou seja, para a previsibilidade da taxa de aquecimento no refratário a temperatura ambiente será diferente se ele estiver a 550°C. Tanto a taxa de aquecimento quanto a de resfriamento dependerão da vida de panela, a posição vertical ou horizontal, as faixas de temperatura<sup>(1)</sup>.

## Índice de Encharque

O índice de encharque representa quantitativamente o estado térmico das panelas, ele varia entre 0 a 100, onde 100 seria a condição ideal para receber o aço líquido. Alguns trabalhos o consideram com referência o final de aquecimento de uma panela nova<sup>(2)</sup>, sendo assim ela estaria em torno de 100. Com o decorrer do tempo este índice tende a cair em função do resfriamento.

O IE depende do calor específico do material (c), da capacidade térmica, que esta atrelado a vida do revestimento (massa) e o tempo de permanência do aço na panela e é função também do ciclo (tempo sem aço).

## Índice de Encharque versus Ciclo

Para a montagem deste modelo, foi utilizado como referência a temperatura máxima do aquecedor na parede do refratário. Este valor seria convertido em no valor **100** (padrão), ou seja, este valor seria teoricamente a condição ideal para o vazamento, evitando perda brusca da temperatura do aço.

Conforme dados de campo, a temperatura máxima coletada na linha de escória após aquecimento foi de **1063°C**. Para simplificarmos foi arredondado para 1000°C.

Como o IE é proporcional a queda de temperatura, foi utilizado a curva de resfriamento como tendência, mudando somente a escala. Ou seja, os valores de temperatura por tempo (min) foram divididos por 10, logo conseguimos uma relação matemática para o I.E.

## Índice de Encharque versus Vida do Revestimento

Para a montagem deste modelo deveremos saber as condições de contorno.

- A vida varia de 0 a 114 corridas;
- Sabemos que as 03 primeiras corridas a panela ainda não encharcou devido à inércia térmica para atingir o volume todo de refratário<sup>(1)</sup>;
- Quanto mais material maior será a capacidade de armazenar Energia Térmica, segunda a relação:  $Q = m.c.\Delta T$ , onde m: massa; c: capacidade específica do material e  $\Delta T$ : Diferença de temperatura.

Para sabermos a redução de massa, foi coletado o desgaste médio da LE na meia vida (65 corridas) e no final de campanha (114 corridas).

Sabendo o comportamento do desgaste e considerando que o volume material seria a parede de trabalho mais o permanente, traçou-se a curva da redução de massa em função da vida. Considerando que para até a 4ª vida, temos I.E. = 100. O restante é calculado com a redução percentual de massa em relação ao 100 (proporcional à redução).

## Índice de Encharque versus Tempo com Aço

Sabemos que quanto mais tempo o aço permanecer na panela, melhor será para o Índice de Encharque. Porque haverá mais tempo para o calor do aço passar para o refratário. As condições de contorno são:

- O tempo com aço varia de 75 a 150 minutos (depende da rota);
- Parte do calor que sai do aço para o refratário é perdido para o meio ambiente por convecção e irradiação;
- O I.E. vai depender da velocidade de transferência de calor para o refratário;

Foi feito um experimento em uma panela que entrara no ciclo. Com auxílio de um Pirômetro Óptico ( $\varepsilon = 0,92$ ) coletou-se temperaturas da carcaça (linha de escória) até o quarto ciclo. Para isso foi considerando o ganho de temperatura da carcaça durante o tempo em que ficou com aço. Inicialmente a temperatura da carcaça da panela estava em torno de 225°C e subiu para 305°C e estabilizou (Vida=04).

## Modelo de Perda Térmica

Através das equações de encharque tornou possível entender o comportamento térmico das panelas. Entretanto para uma melhor previsibilidade se faz necessário ajustá-lo de acordo com a influencia de cada tipo de aço. Através do índice de encharque das panelas e os dados do tipo do aço quanto ao teor de carbono e manganês, temos como calcular a queda de temperatura da panela. O teor de carbono e manganês implicaria na adição de ferro ligas para acerto de corridas. Esta modelagem da perda de temperatura foi possível pela técnica de regressão múltipla de 2580 corridas, considerando como entrada o teor de carbono e manganês.

Através destes limites foi possível calcular fatores para ajustar o modelo com os valores de campo. Este modelo tornou possível prever a queda de temperatura do vazamento para a panela. Com esta ferramenta, poderemos prever através das condições térmicas da panela e o tipo de aço a ser vazado a temperatura ideal de vazamento de acordo com a temperatura mínima de liberação da panela para o lingotamento. Com isso poderemos minimizar o erro de vazamento que acarreta desvios de rota ou mesmo retorno total da corrida por queda de temperatura.

## 3 DESENVOLVIMENTO

Após o levantamento de campo das panelas para avaliação dos modelos de perda térmica, decidiu-se realizar um **PDCA** para o alcance das metas.

### 3.1 Fase I – Identificação do Problema

Inicialmente foi feito alguns questionamentos do tipo:

- Qual o Problema? Elevado retorno de aço do lingotamento contínuo por deficiência térmica da panela;

- Perdas Atuais: Retorno de Aço (kg/ton), Consumo de Eletrodos e Consumo de Energia Elétrica do Forno Panela;

Para a elaboração da meta, levantou os retornos de aço de Mar/05 a Out/05, para identificarmos a média e o “benchmark”. A meta foi 50% da lacuna entre a média e o “benchmark” do período. Definindo: **Meta**: Reduzir o Retorno de Aço por Deficiência Térmica da Panela em 30% até Fevereiro de 2006.

### 3.2 Fase II – Observação

Foram feitas a identificação da natureza do problema, com Paretos.

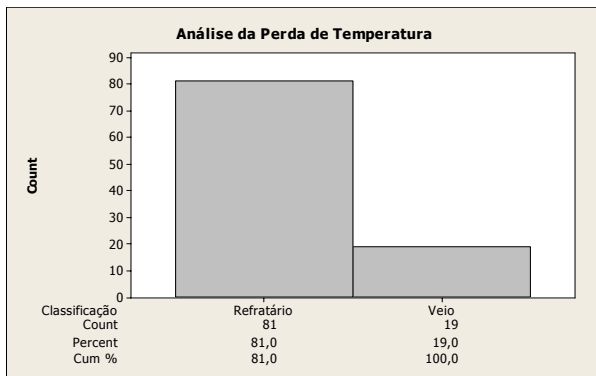


Figura 2. Estratificação da queda de temperatura ligado

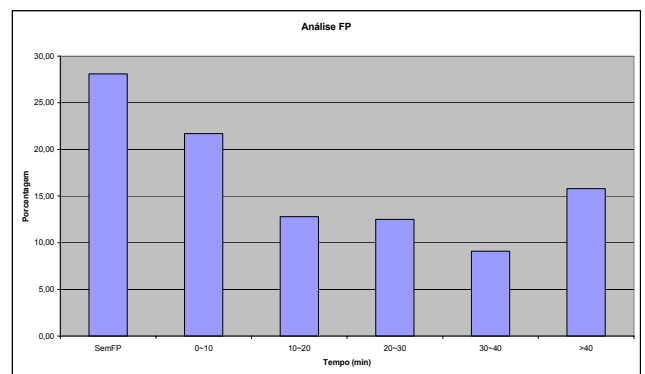


Figura 3. Tempo de forno panela

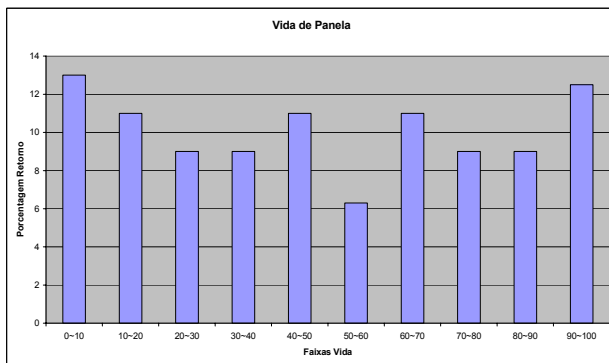


Figura 4. Vida da panela

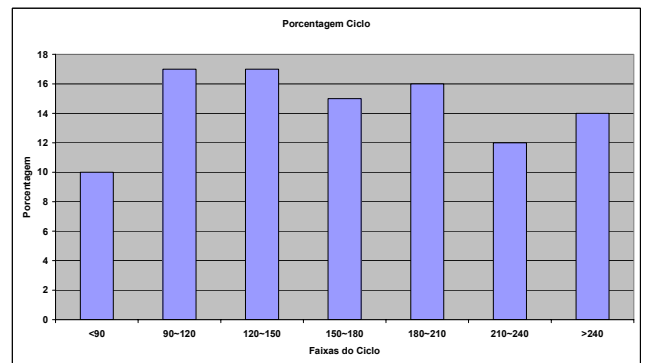


Figura 5. Ciclo das panelas

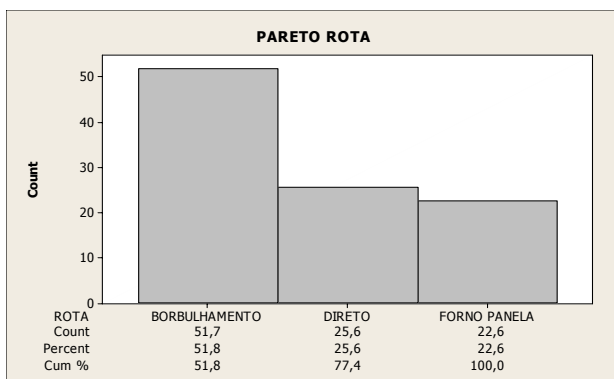


Figura 6. Rota das panelas

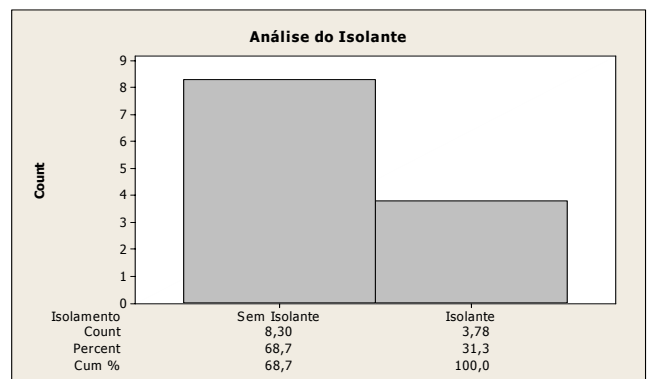


Figura 7. Análise das panelas com isolantes

### 3.3 Fase III – Análise do Problema

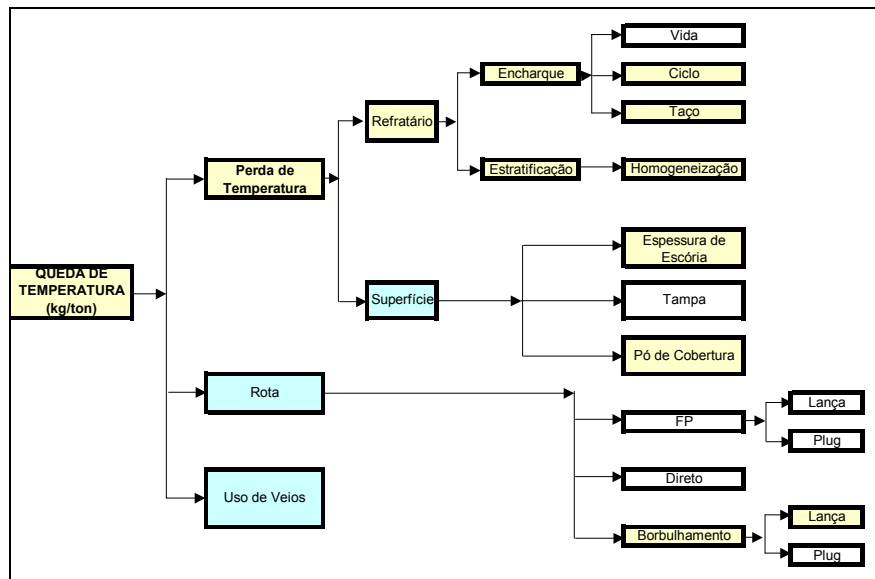


Figura 8. Árvore de Causa

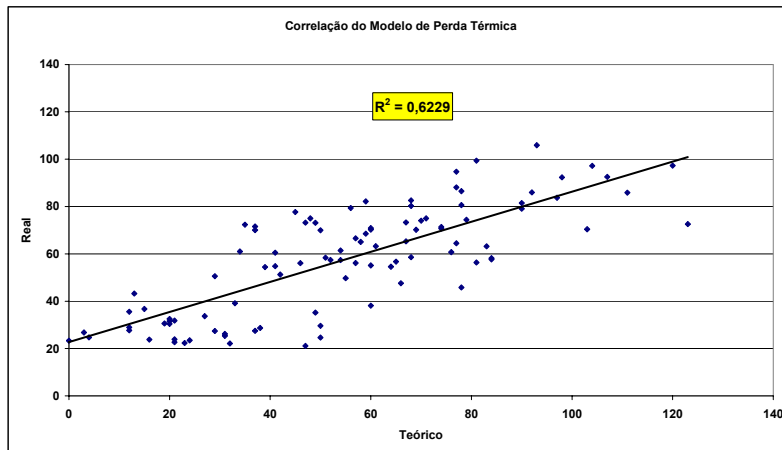
### 3.4. Fase IV – Plano de Ação

De acordo com o levantamento, verificou-se que os pontos críticos a serem trabalhados, foram:

- **Isolantes:** Será montando nas painelas restantes o revestimento isolante;
- **“Power On”:** Será do padrão até a 3ª corrida via forno panela;
- **Dolomíticas:** Para evitar a troca de sede, faremos uso de 60% da frota com painelas dolomíticas que tem vida inferior e assim sendo não há a necessidade de trocarmos a sede;
- **Índice de encharque:** Será usada uma plataforma de cálculo para orientação dos sopradores quanto ao estado térmico das painelas;
- **Lança de Borbulhamento:** Para aumentar sua eficiência sem tanto aumentar uma agitação desnecessária, foi feita modificações na lança de injeção;

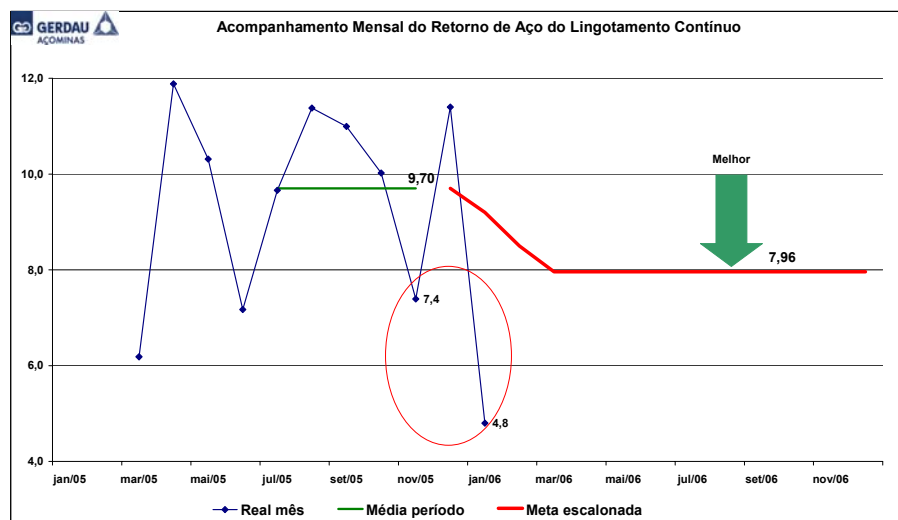
## 4 RESULTADOS E ANALISES

Como resultado do nosso trabalho, temos os levantamentos do índice de encharque para cada panela vazada e a previsão de perda térmica de cada uma (°C/min) em função do tipo de aço. Apresentando um “Coeficiente de Pearson”<sup>(3)</sup> ( $R^2=0,623$ ) do qual representa bem a situação em termos industriais.



**Figura 9.** Correlação do Modelo de Queda de Temperatura da Painela de Aço

A outra parte refere-se ao retorno de aço do lingotamento contínuo por perda térmica da painela. Levantou-se os dados atualizados até Jan/06, que refere-se a etapa de verificação do plano de ação executado no final de outubro e meados de Novembro/05.



**Figura 10.** Retorno de Aço (kg/ton) do Período até Jan/06

De acordo com este levantamento e considerando a fase 5 e 6 referentes à verificação do indicador, vê-se que estamos trabalhando dentro do planejado. Precisamos de mais tempo para avaliar as ações tomadas e com isso fechar o PDCA para o atendimento das metas.

## 5 CONCLUSÕES

Com a metodologia do PDCA aplicada para solução deste problema nos forneceu uma visão macro do problema, conduzindo nos a focalizar em problemas específicos. Os próximos passos seriam a padronização das ações tomadas.



Nestes três meses de verificação vimos que a média de retorno reduziu, o qual esperamos que a mesma se manterá neste patamar. Outras ações ficaram pendentes tais como a montagem de uma tampa móvel na área de painéis para redução da perda térmica.

O índice de encharque é uma grandeza adimensional que nos fornece a real situação térmica das painéis, não mais usaremos como referência o ciclo, já que este é incompleto em termos de análise. Compreendendo a situação térmica das painéis foi possível equalizar com o teor de carbono e manganês do aço vazado prevendo a queda de temperatura do aço em função do encharque térmico e a quantidade de ferro ligas adicionadas. O programa de painéis está em andamento, o qual acompanhamos diariamente a situação térmica das painéis. A próxima fase seria a tomada de ações quanto a temperatura ideal de vazamento prevendo assim a queda de temperatura da painéis.

## REFERENCIAS

- 1 FERREIRA, N. F., SILVA, L.R.M., STROHAECKER, T.R., VILELA, A.C.F., BAS, J. – *Análise de Fatores Operacionais de Painéis da Aciaria da Gerdau – Aços Finos Piratini Utilizando um Modelo Matemático*, XII Seminário de Aciaria do IAS, 1999 – Buenos Aires, Argentina;
- 2 FUJII, T., LENNA, G., SAMPAIO, P., HAHNE, C. – *Implementação de um Sistema para Gestão de Painéis e Controle Térmico do Aço na Aciaria da V&M do Brasil*, XXXVI Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais – ABM – 2005 – Vitória, ES. Brasil
- 3 MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. – *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*, 2ª Edição – LTC – 2003;
- 4 AGUIAR, S. – *Integração das Ferramentas da Qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma*, DG – 2002.