

# MONITORAMENTO DE PROCESSO PARA PREVENÇÃO DO SUCATAMENTO POR EMPENO GERADO DURANTE O LINGOTAMENTO CONTÍNUO DA AÇOS VILLARES S/A – USINA MOGI DAS CRUZES <sup>1</sup>

*André Siqueira de Lima*<sup>2</sup>  
*Marcelo Carboneri Carboni*<sup>3</sup>  
*Sérgio Luiz Casarini*<sup>4</sup>  
*Valdir Anderson Silvério*<sup>5</sup>  
*José Roberto Bolota*<sup>6</sup>

## Resumo

Este trabalho tem por objetivo realizar um monitoramento durante o processo de Lingotamento Contínuo da Aços Villares – Usina de Mogi das Cruzes tendo como benefício principal a compreensão da origem do empenamento dos tarugos e redução do sucata de diversas peças na Aciaria. A metodologia empregada neste trabalho teve como base o sistema Seis Sigma que auxiliou na observação do processo em suas diferentes etapas do lingotamento, determinando assim tipos de empeno existentes e momentos em que ocorre este fenômeno nos tarugos. Tendo o conhecimento do processo e visualizando as suas variáveis, obteve-se dados nos diversos pontos em que ocorre o resfriamento da peça em um determinado intervalo de tempo, bem como parâmetros empregados nos diversos tipos de aço e desempenho operacional. As peças geradas no Lingotamento Contínuo sofrem resfriamento de forma não homogênea, proporcionando transformações de fase em momentos distintos de uma face para outra da peça, provocando empeno nos tarugos. Durante o trabalho, constatou-se que além deste, existem outras duas origens para empeno: problemas mecânicos e correntes de ar que atravessam transversalmente a trajetória dos tarugos no processo de lingotamento.

Ao compreender a formação do empeno, sua localização e forma, consegue-se atuar preventivamente para cada tipo de aço.

**Palavras-chave:** Lingotamento contínuo; Transformação de fase; Empenamento

## PROCESS MONITORING FOR THE PREVENTION OF WARPING DURING CONTINUOUS CASTING IN AÇOS VILLARES – MOGI DAS CRUZES PLANT

### Abstract

This work aims to establish a process monitoring in the Continuous Casting Machine of Aços Villares – Mogi das Cruzes Plant. The expected improvement is the comprehension of the origins of billet warping and reduction of scraping of the billets in the meltshop. The methodology employed in the work was based on the Six Sigma system, which helped in process observation during the different steps of the continuous casting in order to determine the types of warping and the occurrence of this phenomena in billets. Knowing the process and observing all variables, it was possible to gather data in several points of the billet cooling during a period of time. The different steel grades and operational performance were also considered. Cooling during the continuous casting is non-homogeneous, what causes uneven phase transformation in different sides of the billet and therefore warping. During the work it was stated that not only the non homogeneous cooling of the billets, but also mechanical problems and transversal air currents over the billets in the continuous casting machine can cause warping. Understanding the formation of the warping, its location and pattern, it is possible to act previously for each steel grade to be cast.

**Key words:** Continuous casting; Phase transformation; Warping.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao XXXIX Seminário de Aciaria – Internacional, 12 a 16 de maio de 2008, Curitiba, PR, Brasil*

<sup>2</sup> *Tecnólogo em Garantia da Qualidade – Técnico em Aciaria – Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes*

<sup>3</sup> *Mestre em Eng. Metalúrgica – Supervisor Técnico de Processos de Aciaria – Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes*

<sup>4</sup> *Controlador – Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes*

<sup>5</sup> *Mestre em Eng. Metalúrgica- Engenheiro de Laboratório – Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes*

<sup>6</sup> *Engenheiro Metalurgista – Gerente de Aciaria – Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes*

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho foi realizado na Máquina do Lingotamento Contínuo da Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes que proporcionou, durante a pesquisa, o mapeamento de diversos pontos no equipamento que possuem um potencial de ocasionar o empenamento nos tarugos, dependendo de uma combinação de fatores.

Embora acompanhado toda a extensão da Máquina do Lingotamento Contínuo, o foco da pesquisa ocorreu na área após o corte dos tarugos, local denominado Leito de Resfriamento. Esta área é responsável em receber os tarugos já cortados em comprimentos estabelecidos, armazenar em locais apropriados e identifica-los conforme padrão e instrução de trabalho.

No Leito de resfriamento, as já cortadas peças possuem o comprimento que podem variar de 3.500 mm até 12.000 mm e são posicionadas sobre uma mesa onde ocorre o resfriamento devido a perda de temperatura por meio de transferência de calor. Esta transferência de calor ocorre de forma não uniforme, o que em alguns casos, compromete a qualidade dos tarugos.

As bitolas de trabalho são de quadrado 155 mm ou 185 mm, proporcionando assim mais um parâmetro de controle.

Durante o trabalho, perceberam-se três tipos de empeno bem distintos:

- Empeno em arco, empeno em ‘S’ e empeno localizado.

O empeno em arco é provocado pela deformação decorrente da transformação de fases provindas de um resfriamento não uniforme entre as faces do tarugo.

Ao posicionar a peça para resfriar, ocorre o contato direto com uma das faces do tarugo anterior, o que atrasa a transformação de fase austenita para bainita ou austenita para martensita no lado (face) do tarugo que está “protegido”. Desta forma, na superfície que está em contato com o ar, ocorre um resfriamento mais rápido provocando a mudança de fases mais rapidamente neste.

Já o empeno em ‘S’ é ocasionado pela corrente de ar que passa transversalmente pela trajetória do tarugo durante o lingotamento. Este tipo de empeno é provocado principalmente nas peças posicionadas nos veios extremos por recebem uma maior corrente de ar.

O outro modo de empeno é o que chamamos de empeno localizado.

Este último tipo de empeno tem sua localização bem definida na peça e é resultado principalmente de defeito mecânico devido ao deslocamento de uma das pontas do tarugo enquanto o outro é travado sobre a mesa do Leito de Resfriamento.

Na tentativa de contornar o problema, diversas experiências foram realizadas. Destes experimentos, conseguiu-se obter respostas, que ajudaram na compreensão do problema, dos fenômenos envolvidos bem como os mecanismos atuantes.

De posse destes dados, foi possível propor soluções efetivas para a resolução do caso.

## 2 OBJETIVOS

Tem-se como objetivo deste trabalho o acompanhamento e identificação do empeno nos diversos pontos da Máquina de Lingotamento Contínuo da Aços Villares – Usina Mogi das Cruzes, avaliando a ocorrência deste fenômeno e proporcionando soluções para reduzir o sucata neste.

Com a compreensão da formação do empeno, pretende-se avaliar os resultados sob dois aspectos:

- Causa potencial que gera o empenamento;
- Ganho da produtividade e redução do sucata.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada no trabalho foi o Sistema Seis Sigma para a implantação do projeto e descrição dos problemas observados.

Dentro do Sistema Seis Sigma, utilizou-se o método DMAIC como forma de integrar as diversas ferramentas da qualidade.

Com o emprego correto destas ferramentas, consegue-se que estas se transformem, então, em um método sistemático baseado em dados e avaliações. O uso de ferramentas estatísticas, para se atingir os resultados estratégicos buscados no trabalho, também fizeram parte do trabalho e são explorados no escopo deste.

#### 3.1 Primeira etapa \_ Define

A primeira etapa da ferramenta DMAIC tem como principal característica determinar claramente a meta e os impactos com a elaboração do projeto.

Como já descrito anteriormente, a compreensão de como ocorre a formação do empeno, e a possibilidade de atuarmos preventivamente nos tarugos é o ganho principal pretendido ao final deste trabalho.

#### 3.2 Segunda etapa \_ Measure

Para a segunda etapa na ferramenta DMAIC, o problema deverá ser refinado e/ou focalizado.

Assim sendo, a observação do processo se tornou obrigatória e foi o ponto de partida para se determinar como seria o andamento do trabalho.

O acompanhamento na área inicia-se no Leito de Resfriamento. Os tarugos entram no leito a, aproximadamente, 800°C e são posicionados um ao lado do outro e resfriam-se através de radiação e de convecção até, aproximadamente 450°C para serem posteriormente armazenados (Figura 1).



**Figura 1** – Tarugos posicionados sobre o Leito de Resfriamento.

Tem-se como resultado deste armazenamento uma das faces mais exposta, o que provoca um resfriamento mais rápido se comparada a face oposta, gerando gradientes térmicos no interior da peça e diferentes taxas de resfriamento. A distorção esperada decorrente deste fenômeno seria um empeno causado pela contração térmica diferencial. A face mais exposta contrai mais rapidamente que na face posterior.

A contração da face exposta gera tensões na face oposta, conforme pode ser visto na Figura 2 onde é demonstrada uma peça com empeno excessivo em forma de arco.



**Figura 2** – Empeno causado por gradiente térmico.

Outro tipo de empeno encontrado no Leito de Resfriamento é o empeno localizado. O motivo principal que provoca o empeno localizado é defeito mecânico nos empurradores de tarugos que não atuam em conjunto, forçando assim uma das extremidades da peça enquanto o outro extremo encontra resistência dos tarugos anteriores posicionadas sobre a mesa.

Ainda se tratando de empeno localizado, devido a grande quantidade de comprimentos de trabalho, pode haver em uma mesma corrida o corte de tarugos com comprimentos bem distintos, o que provoca a distorção em algumas pontas do tarugo devido a este estar desprotegido e exposto a ação de correntes de ar.

Como terceiro tipo de empenamento, porém de menor amplitude de arco gerando pequeno índice de refugo, é o caso de empeno em 'S'.

Este tipo de empeno é ocasionado no próprio percurso do tarugo no Leito de Resfriamento. É provocado devido as correntes de ar que passam transversalmente na Máquina do Lingotamento Contínuo, como pode ser visto na Figura 3.



**Figura 3** – Vista do percurso realizado pelo tarugo após o corte.

### 3.3 Terceira etapa \_ Analyse

Na terceira parte da ferramenta DMAIC é determinado o problema prioritário, ou seja, qual o problema deve-se atacar primeiramente.

Como já apresentado, foram encontradas três causas e tipos com potencial de gerar o empeno.

O tipo prioritário foi determinado durante acompanhamento e coleta de dados conforme Figura 4.

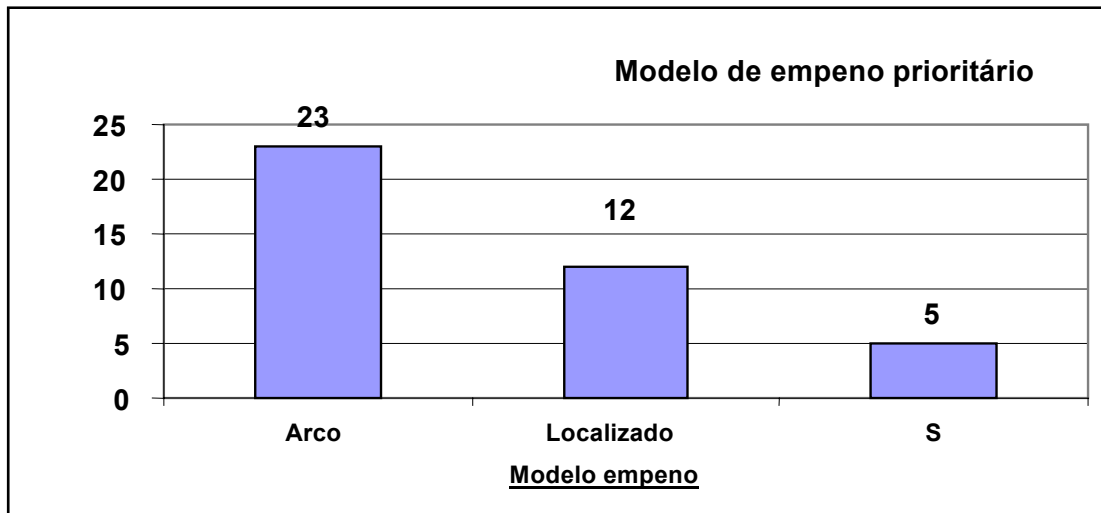


Figura 4 – Distribuição de ocorrência por tipo de empeno.

Para a primeira causa, empeno em arco observa-se que este se dá durante o resfriamento do tarugo na mesa do Leito de Resfriamento, o que leva a crer que o transporte de calor é um fenômeno participante do processo.

A extração de calor é caracterizada em dois tipos de transferência: condução e radiação.

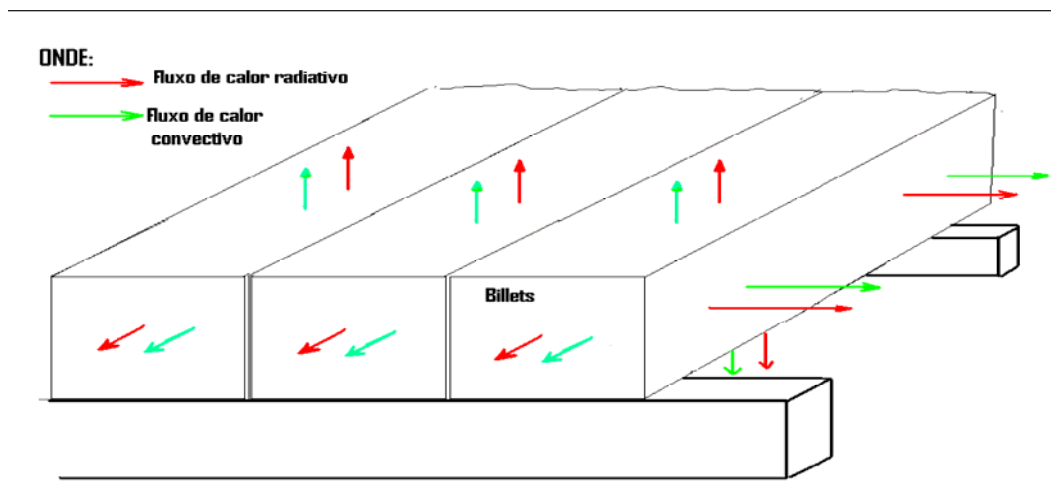
No leito de Resfriamento, a primeira peça resfria através de trocas térmicas nas faces superior, inferior e lateral externa. Entre a face encostada ao tarugo subsequente há gradientes térmicos, portanto, há condução interna de calor durante o processo.

Isto mostra que em determinados instantes as peças possuem diferentes temperaturas e estão sujeitas a formação de diferentes microestruturas no interior do tarugo.

Como exemplo, podemos imaginar que as faces mais expostas possuem microconstituintes como bainita e martensita devido a elevada taxa de resfriamento, ao passo que, próximo as faces protegidas e menos expostas provavelmente os microconstituintes presentes sejam típicos de baixas velocidades de resfriamento (ferrita e perlita).

O fenômeno de resfriamento deve ser controlado para que não se formem gradientes térmicos excessivos no interior da peça.

Os tarugos resfriam de maneira heterogênea, o que provoca temperaturas diferentes em diversas posições do tarugo ao mesmo tempo, conforme Figura 5.



**Figura 5** – Representação esquemática do fluxo de resfriamento heterogêneo nos tarugos.

No caso de materiais de baixa temperabilidade, a transformação austenita => perlita/ferrita se dá quase simultaneamente em toda a peça, então a expansão ocasionada pela transformação não gera campos de tensão para deformar o tarugo, assim o empeno se dá somente pelas tensões decorrentes da contração linear diferencial das faces da peça.

Porém em materiais de alta temperabilidade o defeito se agrava, pois a face que está exposta sofre uma transformação de fase mais rápida, com forte expansão volumétrica muito antes da face oposta, que, por ainda estar em elevada temperatura, apresenta baixo limite de escoamento e se deforma plasticamente aliviando as tensões decorrentes da transformação.

### 3.4 Quarta etapa \_ Improve

Na penúltima etapa, chegou o momento de transformar os conhecimentos adquiridos e as idéias levantadas em soluções para garantir o alcance da meta.

Durante o resfriamento dos tarugos observam-se dois grupos distintos de aços: os que empenam de forma mais intensa (alta temperabilidade) e os de menor intensidade (baixa temperabilidade).

No ferro, assim como nos aços ferríticos, a estrutura atômica de equilíbrio a temperatura ambiente é do tipo cúbica de corpo centrado (CCC). Esta estrutura é chamada de ferrita e é designada pela letra grega alfa. Ao aquecer o metal, ocorre uma mudança no reticulado cristalino, que passa de cúbico de corpo centrado para cúbico de fase centrada (CFC). Esta fase é chamada de austenita e é designada pela letra grega gama. Nos aços a temperatura em que ocorre esta transformação depende dos seguintes fatores: pressão, teor de carbono e concentração de outros elementos de liga.

A principal observação desta etapa é que, como há uma grande diferença entre as microestruturas das regiões próximas a face livre e das regiões protegidas, fica mais evidente que estes dois locais sofreram transformações distintas, o que pode ser representado pelo empeno formado na peça.

Desta forma, uma das maneiras encontradas para eliminar o problema foi a de posicionar os tarugos separados uns dos outros sobre o respectivo veio e aguardar o maior tempo possível antes de empurrá-lo.

O objetivo desta ação foi a de obter um resfriamento homogêneo em todas as faces do tarugo no maior tempo possível, obtendo assim a mesma transformação de fases em toda extensão da peça.

Como existem diversos tipos de aço e suas respectivas reações durante o resfriamento, foi elaborado um diagrama de matriz para focar o tipo e causa do defeito. Este diagrama está apresentado na Tabela 1.

É importante que as soluções sejam elaboradas de modo claro e formalmente registradas.

Assim sendo, foi apresentada durante o trabalho uma tabela tendo o tipo de aço, a não conformidade apresentada e sua respectiva ação preventiva para eliminar o defeito, conforme demonstrado na Tabela 2.

**Tabela 1** – Diagrama de Matriz para determinar o grupo de aço com tipo de empeno.

<b>Diagrama de Matriz</b>							
<b>Causa do defeito</b>	<b>Empeno sobre a mesa do leito</b>			<b>Empeno na Linha</b>		<b>Empeno no solo</b>	
	<b>Com uso de encosto</b>	<b>Sem uso de encosto</b>	<b>Sem apoio dos empurradores</b>	<b>Desalinhamento dos rolos</b>	<b>Desalinhamento dos levantadores</b>	<b>Centralização</b>	<b>Corrente de ar</b>
<b>Empeno localizado</b>			Todos grupos			Todos grupos	
<b>Empeno de início/fim</b>	Grupo 2 e 3	Grupo 1 e 4					
<b>Empeno em arco</b>	Grupo 2 e 3	Grupo 1 e 4					Todos grupos
<b>Empeno em "S"</b>			Todos grupos	Todos grupos	Todos grupos		

**Tabela 2** – Tabela para realização de ações preventivas para redução de empeno sobre diversos aços.

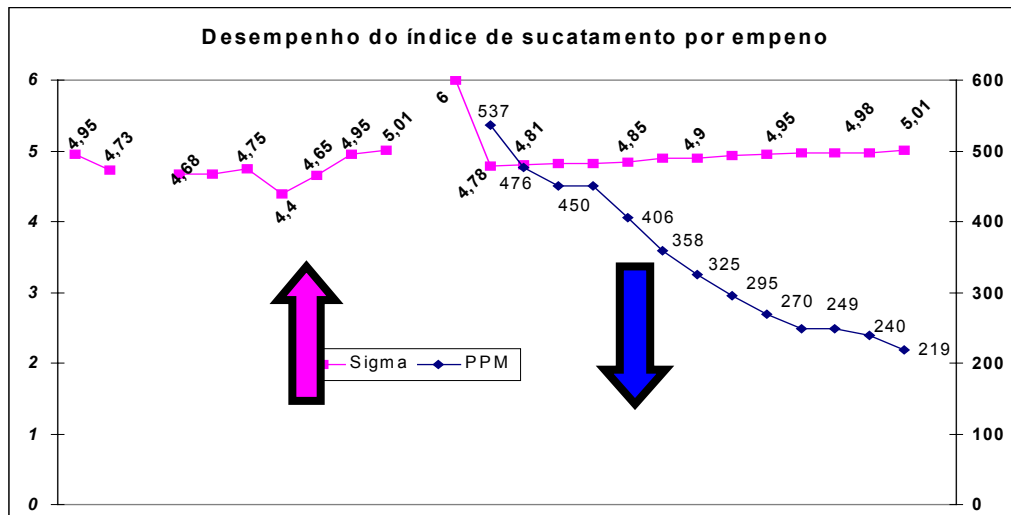
<b>Motivo do Empeno (Potencial)</b>	<b>Medida Preventiva (Se necessário)</b>
Aços tipo 41xx, 43xx, 51xx, (BC) empenam sobre a mesa.	- Manter o tarugo separado o maior tempo possível antes do empurrador. - Atenção às trocas de comprimento superiores a 500mm de diferença.
Aços tipo 10xx (BC, MC), 11xx, tendem a empenar durante descarregamento e no momento do empilhamento.	- Avaliar as condições de empenamento e virar o empeno do tarugo para baixo, se necessário.
Aços BC e MC podem empenar se houver corrente de ar entrando pelas portas do galpão.	- Manter as portas próximas à pilha fechadas durante a 1ª hora após o empilhamento.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Quinta etapa \_ Control

A última etapa do DMAIC consiste em verificar a eficácia do projeto. O acompanhamento realizado com o grupo de aços críticos mostrou que as ações apresentadas são eficazes e que devem ser mantidas. Os resultados são apresentados na Figura 6.

Figura 6 - Desempenho do índice de sucata por empeno.



## 5 CONCLUSÕES

Avaliando-se os resultados obtidos a partir da validação industrial feita na usina, foi possível atingir os resultados esperados. Como benefícios da utilização do estudo realizado sobre o problema de empeno nos tarugos, podemos destacar:

- A homogeneidade de resfriamento dos tarugos é um controle importante e deve ser observado sempre. Desta maneira, o impacto negativo de uma troca de temperatura nas peças é reduzido e proporciona a transformação de fase igualmente ao mesmo instante em toda extensão da peça;
- Demonstrou-se que é possível uma redução de sucata por empeno se tratado cada caso de maneira distinta e com suas particularidades;
- A validação do trabalho ocorrerá após uma análise mais quantitativa, visto que é necessário um refinamento e um maior banco de dados;

Desta maneira pode-se concluir que o projeto de monitoramento de processo para prevenção do sucata por empeno gerado durante o lingotamento contínuo da Aços Villares – Usina Mogi das Cruzes atingiu seus objetivos iniciais.



## BIBLIOGRAFIA

- 1 CARBONI, M.C.; LIMA, A.S.; AZEVEDO, A.S.; BOLOTA, J.R. **Sequenciamento de Aços de Qualidades Distintas em um Mesmo Distribuidor no Lingotamento Contínuo**. In: *XXXVI Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais*, Vitória, 2005. Anais. São Paulo: ABM, 2005.
- 2 GOZZI, D.S. – **Estudo do problema de empeno em tarugo provenientes de Lingotamento Contínuo** *Trabalho apresentado na Escola Politécnica - São Paulo*, 2005.
- 3 VILELA, A.C.F.; SOARES, R.B. **Lingotamento Contínuo de Blocos e Tarugos**, Marcio Lessa da Silva, 2007.
- 4 WERKEMA, C.- **Criando a cultura Seis Sigma**, vol. 1. Werkema Editora, 2004.