

REDUÇÃO DE SUCATAMENTO POR DESCONTINUIDADES SUPERFICIAIS EM BARRAS PROVENIENTES DE ACIARIA ATRAVÉS DE DOE (DESIGN OF EXPERIMENTS) ¹

Valdir Anderson Silvério ²

Eduardo da Silva Pereira Duarte ³

Marcelo Carboneri Carboni ⁴

Carlos Roberto Santos ⁵

Geraldo Gomes de Oliveira Jr. ⁶

Nicolau de Almeida Santos ⁷

Resumo

O objetivo deste trabalho foi reduzir o sucata por descontinuidades superficiais provenientes de aciaria em barras laminadas de aços alto manganês e médio carbono. Foram utilizadas ferramentas estatísticas como Estratificação Gráfica, Tabela de Cumprimento, Pareto e DOE (*Design Of Experiments*). O método utilizado é baseado na metodologia DMAIC (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*) do programa Seis Sigma. Foram identificados os 3 parâmetros mais influentes e realizado um experimento DOE para quantificar a influência de cada um no sucata. O resultado em 8 corridas quantificou a forte influência do tipo de pó fluxante do molde de lingotamento contínuo de tarugos. O pó mais favorável foi usado em mais 17 corridas obtendo-se 0% de sucata após inspeção por partículas magnéticas.

Palavras-chave: Planejamento de experimentos; Descontinuidade superficial; Pó fluxante.

USE OF DOE (DESIGN OF EXPERIMENTS) TO REDUCE THE SCRAPPING INDEX DUE TO SURFACE DISCONTINUITIES IN BARS ORIGINATED FROM MELT SHOP

Abstract

This work aims the reduction of the scrapping index due to surface discontinuities originated from Melt Shop in high manganese and medium carbon steel rolled bars. Quality statistical tools were used as graphic stratification, compliance table, Pareto chart and DOE(Design of Experiments). The method used is based on the DMAIC methodology (Define-Measure-Analyze-Improve-Control) from Six sigma system. The 3 most important parameters were identified and a DOE experiment was carried out to determine each influence on scrapping index. The result after 8 heats, identified a strong mold powder influence. The most favorable mold powder was used in 17 heats reducing the surface discontinuity scrapping index to 0% after magnetic particle inspection.

Key words : DOE; Surface discontinuity; Mold powder .

¹ Contribuição técnica ao XXXVIII Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2007, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Engenheiro Metalurgista – Mestrando Poli/USP - Engenheiro de Produto – Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes

³ Engenheiro de Metalurgista – Gerente de Tecnologia – Aços Villares S/A - Usinas de Pindamonhangaba e Mogi das Cruzes.

⁴ Engenheiro Metalurgista , M.sc. em Engenharia Metalúrgica - Supervisor Técnico de Processos de Aciaria – Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes.

⁵ Tecnólogo da Qualidade – Técnico em Controle de Qualidade – Aços Villares S/A – Usina Mogi

⁶ Técnico Químico – Técnico de Processos – Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes.

⁷ Engenheiro Metalurgista , M.sc. em Engenharia de Materiais – Supervisor de Engenharia de Produtos e Processos –Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes .

1 INTRODUÇÃO

Dentro da indústria, em especial no desenvolvimento de produto ou processo, muitas vezes é necessário obter informações sobre os mesmos empiricamente. Neste momento, o trabalho das pessoas envolvidas com o problema assemelha-se ao de pesquisadores ou cientistas que precisam projetar experimentos, coletar dados e analisá-los. Experimentos são empregados para resolver problemas de fabricação, decidir entre diferentes processos de manufatura, diferentes conceitos de produto, entender a influência de determinados fatores, etc. Além disso, esta tarefa torna-se cada vez mais importante na medida em que se intensifica a base tecnológica dos produtos e as exigências governamentais e de clientes aumentando a necessidade de emprego de experimentos durante todas as etapas do ciclo de vida do produto ou processo.

1.1 Métodos de Experimentação Industrial

Os métodos de experimentação industriais utilizados podem ser:

- Tentativa e erro
- Um fator de cada vez - OFAT (*One-Factor-At-a-Time*)
- Planejamento de Experimentos - DOE (*Design of Experiments*).

1.1.1 Tentativa e erro

Sistema arcaico e que não expande o conhecimento. Normalmente as soluções propostas industrialmente são alterações indiscriminadas de parâmetros de processo ou tipos de insumos gerando muito tempo e custo. Técnicas de tentativa e erro têm sido consideradas ultrapassadas. Além do gasto de tempo e material nem sempre é possível se chegar nas condições otimizadas e com confiabilidade estatística de reprodutibilidade na resposta obtida.

1.1.2 Um fator de cada vez (OFAT : *One-Factor-At-a-Time*)

O OFAT é um sistema tradicional de experimentação onde se altera somente um parâmetro em cada experimento, o que gera um grande número de experimentos e por conseqüência um maior custo. Mostra-se um processo de experimentação ineficiente e que pode levar a conclusões incorretas, pois não leva em conta simultaneamente os demais parâmetros e suas interações.

1.1.3 Planejamento de Experimentos - DOE (*Design of Experiments*).

Um método de experimentação chamado DOE está substituindo rapidamente o OFAT para testar produtos ou processos por apresentar muitas vantagens sobre o tradicional experimento Um-fator-por-vez (OFAT).

O DOE requer menos testes que o OFAT para validar resultados, levando a uma significativa redução de tempo e custo. Também detecta as interações entre as variáveis que não poderiam ser encontradas quando se varia somente um fator por vez. São estas interações que em muitos casos se mostram ser a chave para as melhorias de processos. Adicionalmente, com o DOE, pode-se otimizar um produto ou processo, localizando o ponto exato em que se encontram as especificações ou parâmetros. Através do DOE, as empresas vêm economizando centenas de milhares de dólares através da melhoria da qualidade e eficiência. Atualmente em um ambiente altamente competitivo, As empresas não se podem dar ao luxo de realizar experimentos por tentativa e erro.

No entanto, deve-se ficar claro que esta ferramenta não substitui o conhecimento técnico do especialista da empresa sobre o assunto e nem mesmo trata-se de uma “receita de bolo” de como realizar um planejamento. O domínio do problema é de fundamental importância. O conhecimento do especialista sobre o problema conjugado com a técnica é que irá permitir bons planejamentos de experimentos, ou seja, planejamentos mais rápidos, de menor custo e que possibilitem aos seus idealizadores encontrarem, baseado em inferência estatística, a resposta a seus problemas.

1.2 Histórico do Problema

Ao se estratificar o sucatamento do primeiro bimestre de 2006 na usina de Mogi das cruces percebeu-se um aumento significativo no sucatamento por descontinuidades superficiais nas barras. Foi detectado através de diagrama de Pareto (Figura 1) que aços alto manganês e médio carbono respondiam por 76,5% por descontinuidade superficial e tinham grande influência no sucatamento total da aciaria.

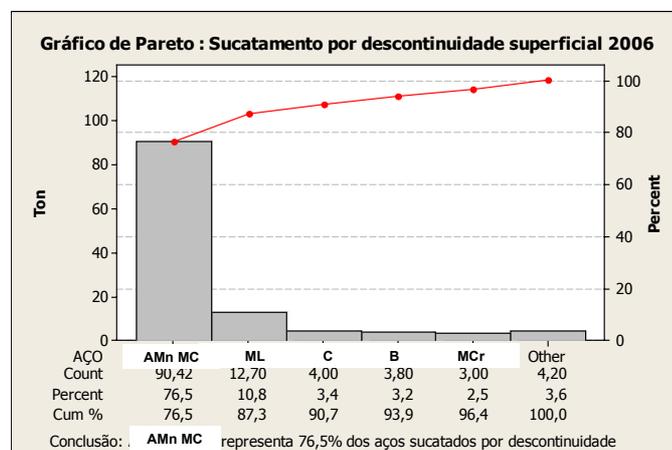


Figura 1: Sucatamento por tipo de aço

Cada corrida de aço alto manganês e médio carbono sucataava em média 7% nos meses em que o aço era produzido (Figura 2).

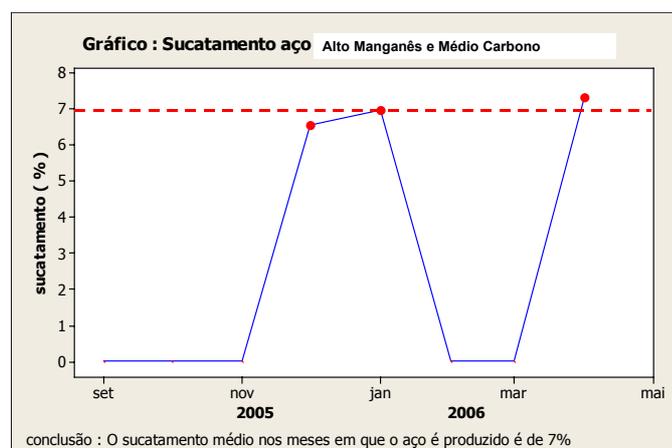


Figura 2 : Sucatamento do aço Alto Mn Médio C

1.3 Detecção e Caracterização do Defeito

A detecção dos defeitos superficiais nas barras é realizada através de ensaios de partículas magnéticas conforme Figura 3 e a sua caracterização é feita através de metalografia.

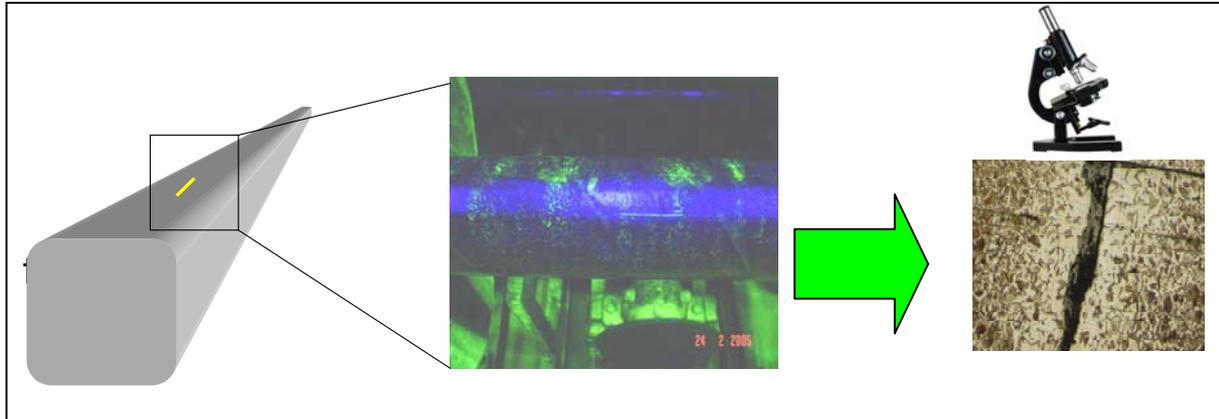


Figura 3 . Detecção e caracterização de defeitos superficiais em barras

2 MÉTODO

O estudo das causas seguiu os seguintes passos conforme fluxograma da figura 4:

- Levantamento de histórico (44 corridas);
- Análise de corridas boas e ruins;
- Análise gráfica (estratificação);
- Tabela de cumprimento.

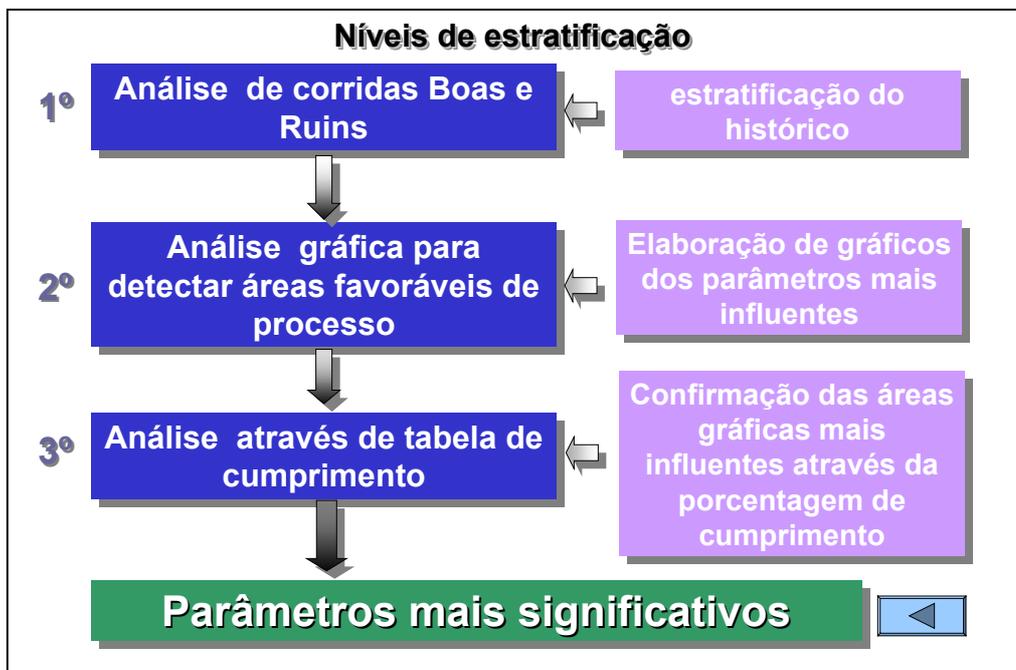


Figura 4 : fluxograma de níveis de estratificação

2.1 Análise de Corridas Boas e Ruins

O critério de seleção para as corridas boas foi sucatação por defeito superficial (0%) e para as corridas ruins foi o mínimo de 5% de sucatação. Do histórico de 44 corridas foram selecionadas 37 corridas com este critério. As demais corridas que não atenderam a este critério ficaram com sucatação entre 0 e 5%.

Dos 23 parâmetros iniciais, foram escolhidos 10:

1. Lingotabilidade, por análise de registro de carta gráfica da posição do tampão durante lingotamento;
2. Teor de Al final no aço;
3. Teor de S final no aço;
4. Teor de Cu final no aço;
5. Temperatura da água no molde do lingotamento contínuo;
6. Máxima vida no molde; número de corridas lingotadas pelo molde mais antigo na corrida em análise;
7. Delta: superaquecimento do aço em relação à temperatura liquidus (tundish);
8. Tipo de pó fluxante;
9. Tempo de lingotamento;
10. Temperatura de liberação do Forno Panela.

Os parâmetros escolhidos para o estudo foram em função da experiência do grupo (Brainstorming).

2.2 Análise Gráfica (Estratificação)

O registro gráfico dos parâmetros foi realizado agrupando-se a cada duas variáveis da mesma fase do processo para facilitar a identificação das áreas favoráveis conforme exemplo da figura 5 (tipo de pó fluxante x Delta LC):

1. Lingotabilidade X Teor de Al;
2. Temperatura da água no molde X Máx vida no molde;
3. Teor S X Teor de Cu;
4. Delta X tipo de pó fluxante;
5. Tempo de lingotamento X Temperatura de liberação do FP.

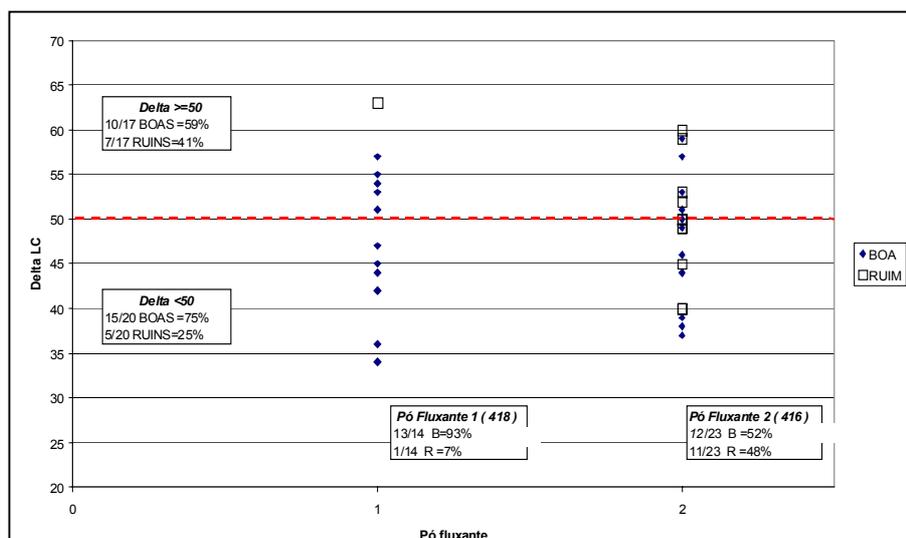


Figura 5 : Estratificação Tipo de pó fluxante x Delta Lingotamento

2.4 DOE

O número de experimentos para uma combinação de variáveis é dado por X^Y , onde Y é o número de fatores ou variáveis e X o número de níveis associados com cada variável. Para o trabalho em questão foi realizado um experimento de 3 variáveis em três níveis, tendo como resultado uma matriz de $2_3 = 8$ experimentos (Teor de Cu, Delta e Tipo de Pó) conforme Tabela 2. A influência de cada variável é calculada pela diferença do valor médio dos resultados obtidos com a variável no nível alto (+) e o valor médio da mesma variável em nível baixo (-), onde a variável resposta é o sucataamento.

Tabela 2. Planejamento de experimento DOE

Experimentos	Variáveis			Resultado
	A	B	C	
1	-	-	-	R1
2	+	-	-	R2
3	-	+	-	R3
4	+	+	-	R4
5	-	-	+	R5
6	+	-	+	R6
7	-	+	+	R7
8	+	+	+	R8
Alternância	2^0	2^1	2^2	

3. RESULTADOS

O fatores foram distribuídos da seguinte forma :

- Fator A = Teor de Cu;
- Fator B = Delta;
- Fator C = Tipo de Pó.

Foram produzidas 8 corridas alterando os fatores conforme experimentos da tabela 3 e se obteve os seguintes níveis de sucataamento conforme tabela 3:

Tabela 3. Resultado dos efeitos dos fatores após experimento DOE

Corrida	A %Cu		B Delta		C Pó de molde		Sucataamento %	Interações de 2º grau			3º grau
	-	+	-	+	-	+		Cu+Delta	Cu +Pó	Delta +pó	Cu+Pó+Delta
1	-	-	-	-	-	-	6,2	+	+	+	-
2	+	-	-	-	-	-	8,5	-	-	+	+
3	-	+	+	-	-	-	6,7	-	+	-	+
4	+	+	+	-	-	-	2,2	+	-	-	-
5	-	-	-	+	+	+	3	+	-	-	+
6	+	-	-	+	+	+	0	-	+	-	-
7	-	+	+	+	+	+	0	-	-	+	-
8	+	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+

Efeito principal dos fatores		Efeito da Interação de 2º grau		Efeito da Interação 3º grau	
Fator A	-1,3	Fator A x B	-0,95	Fator A x B x C	2,45
Fator B	-2,2	Fator A x C	-0,2		
Fator C	-5,5	Fator B x C	0,7		

Após o cálculo do experimento , a figura 6 mostra que o fator mais influente é o tipo de pó de lingotamento , sendo o único fator que atingiu a linha de significância da análise de experimento (erro / linha de Lenth). A influência dos demais parâmetros e suas interações estão dentro do erro e por isso não são considerados.

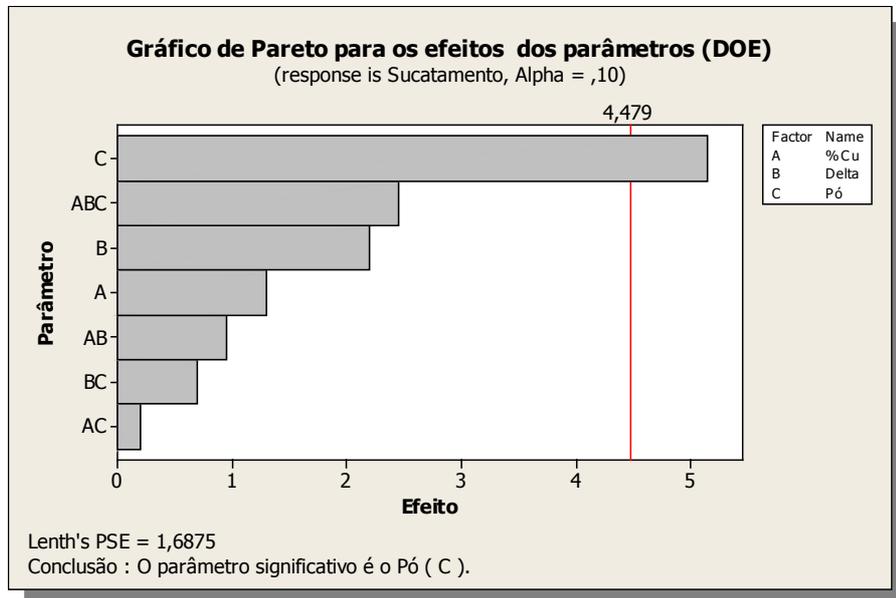


Figura 6 . Pareto para os efeitos dos parâmetros (fatores)

Após 17 corridas deste aço , o sucata médio por descontinuidade foi zero (Figura 7), onde se terminou a etapa do Improve(melhoria) e iniciou a etapa do control do DMAIC. Foi criado um plano de ação para falta de controle (OCAP) para tomada de decisão em caso de novo aumento do sucata.

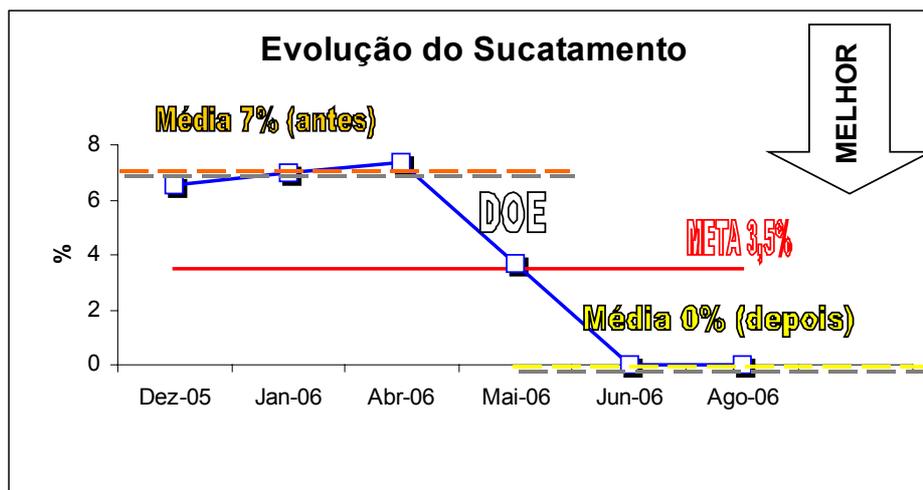


Figura 7. Evolução de sucata

4 CONCLUSÃO

Os defeitos e trincas superficiais podem ser causados devido a vários fatores ,desde composição química do aço , passando pelo processamento até os insumos. As corridas sem sucatamento confirmaram os resultados do DOE que apontavam o parâmetro Pó fluxante como a principal causa. Características importantes no pó fluxante são viscosidade, ponto de amolecimento, ponto e taxa de fusão. Neste caso, pode-se afirmar que os defeitos superficiais provavelmente originaram-se pelo arraste de fluxante devido à reduzida espessura da camada de escória líquida formada no molde, causada pela fusibilidade inadequada do mesmo para o tipo de aço e condições operacionais em estudo.

BIBLIOGRAFIA

- 1 OLIVEIRA, J.S. et al . **Redução do refugo por empeno de tarugos no lingotamento contínuo da Aços Villares utilizando metodologia seis sigma.** 2006, XXXVII Seminário de aciaria-internacional RS , ABM.
- 2 VALADARES, C.A.G - **Fluxantes para lingotamento de aços** . Apostila de curso Carboox , Mogi das Cruzes , 2002.
- 3 VALADARES, C.A.G – **Lingotamento contínuo Villares Anhanguera** . Apostila de curso Carboox , Mogi das Cruzes , 2002.
- 4 WERKEMA, C. **Criando a Cultura Seis Sigma.** Werkema, Nova Lima, MG,2004.