

# AUMENTO DA PERFORMANCE DE PRODUÇÃO DO FRCX4 BASEADO NA METODOLOGIA SIX SIGMA<sup>1</sup>

Raffaele Alves Paranhos<sup>2</sup>  
Rafael Masulck Santos<sup>3</sup>  
Kleidon Rodrigues de Almeida<sup>4</sup>  
Cácio Antulio Senha da Silva<sup>5</sup>

## Resumo

O trabalho descreve o aumento de produtividade do Recozimento em Caixa 4 (FRCX4- Recozimento de Alta Convecção com Hidrogênio Puro) da CSN obtido com a otimização dos ciclos térmicos, aumento da utilização e controle do estoque em fluxo visando o aumento de sua capacidade produtiva preservando a qualidade do produto final (superfície e propriedade mecânica) com zero de investimento. O trabalho mostra as diferentes ferramentas usadas em otimização/ melhoria de processos (análise estatística, escala piloto, escala industrial, metodologia DMAIC; etc.) e a importância do conhecimento do processo na busca dos resultados. Com a realização deste projeto foi possível obter importantes resultados de produção e controle de Gestão da planta dispondo uma maior quantidade de produto laminado a frio, atendendo a demanda do mercado, além da redução de custos de manufatura, maximizando a margem deste produto, tornando a empresa mais competitiva no mercado.

**Palavras-chave:** Recozimento; Ciclos; Produtividade.

## INCREASED PRODUCTION PERFORMANCE FRCX WITH LEAN SIX SIGMA 1

### Abstract

The paper describes the increase in productivity Batch Annealing 4 (FRCX4- High Convection Annealing with Hydrogen Atmosphere ) CSN obtained with the optimization of thermal cycles, increase the performance and stock flow in order to increase its production capacity while preserving the quality of the final product (surface and mechanical property) with zero investment. The paper shows the different tools used for process optimization (statistical analysis, pilot scale, industrial scale, etc.) And the importance of process knowledge in the search results. With the completion of this project was obtained important results in production and better management of equipment, providing a greater amount of cold-rolled product, meeting the market demand and the reduction of manufacturing costs by maximizing the margin of this product, making the company more competitive in the market.

**Keywords:** Annealing; Cycles; Productivity.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 50º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 18 a 21 de novembro de 2013, Ouro Preto, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Elétrico, Engenheiro de Manutenção, Companhia Siderúrgico Nacional, Volta Redonda, Rio de Janeiro, RJ.*

<sup>3</sup> *Engenheiro Metalúrgico, Engenheiro de Processo, Companhia Siderúrgico Nacional, Volta Redonda, Rio de Janeiro, RJ.*

<sup>4</sup> *Engenheiro de Produção Mecânica, Engenheiro de Desenvolvimento, Companhia Siderúrgico Nacional, Volta Redonda, Rio de Janeiro, RJ.*

<sup>5</sup> *Técnico Metalúrgico, Técnico de Desenvolvimento, Companhia Siderúrgico Nacional, Volta Redonda, Rio de Janeiro, RJ.*

## 1 INTRODUÇÃO

O Forno de recozimento em caixa #4 (FRCX#4) tem como principais objetivos tratar termicamente e promover a limpeza superficial do material BFH (Bobina *Full Hard*) oriundo do Laminador de Tiras a Frio n 3 (LTF#3).

Após o processo, a bobina é enviada ao Laminador de Encruamento Reversível (LER), com o objetivo de eliminar o patamar de escoamento através de um pequeno alongamento do material, o encruamento melhora o acabamento superficial ajustando o nível de propriedade mecânica desejado, obtendo-se assim o produto BFF (Bobina Fina a Frio) via FRCX.

O FRCX#4 possui 28 bases, 15 fornos e 13 resfriadores. Esta linha de produção teve o início de suas operações em 1995. O *lead time* deste processo é quantificado através das etapas de Carregamento, Aquecimento, Resfriamento e Descarregamento, sendo a etapa de Aquecimento o gargalo do processo devido ao seu elevado tempo.

**Carregamento:** Compreende na formação das pilhas de bobinas, intercaladas por convectores (facilita a movimentação dos gases) entre as bobinas. Sobre essa pilha é colocada e travada uma campânula de proteção, para manter a atmosfera de contato entre bobinas isolada do ambiente externo. Após o travamento da campânula, ocorre a troca de gases internos, onde o oxigênio presente é expulso devido à inserção de gás nitrogênio. Após não haver mais presença de oxigênio, injeta-se gás hidrogênio, que será o gás presente no recozimento até o final do processo (processo HPH – *Higt Performance hydrogen*). O processo de carregamento dura aproximadamente uma hora.

**Aquecimento:** Já com a atmosfera composta por hidrogênio (pureza de 99,99%), tem início a combustão de Gás de Coqueria (GCO), elevando a temperatura das bobinas, promovendo a recuperação, nucleação e recristalização do material BFH, além de efetuar a sua limpeza superficial. O processo de aquecimento dura de trinta a cinquenta horas.

**Resfriamento:** Após o aquecimento, o forno é substituído por campânulas de resfriamento (Resfriador), que reduz a temperatura das bobinas, primeiro, por exaustão onde dois ventiladores axiais promovem a troca térmica, depois a água finaliza o resfriamento, onde um chuveiro disposto na parte superior do resfriador é acionado, reduzindo a temperatura das bobinas de forma a obter condições de voltar a ter contato com o ambiente externo sem afetar sua qualidade superficial. O processo de resfriamento dura de dezessete a dezoito horas.

**Descarregamento:** Nesta etapa, é retirado o resfriador e a campânula de proteção, para que posteriormente a carga seja desfeita, enviando as bobinas (já recozidas) ao processo posterior. O processo de descarregamento dura em torno de uma hora.

Em função da busca de redução de custo do processo de recozimento e aumento de sua produtividade, formou-se um grupo multidisciplinar, com a integração entre os engenheiros e técnicos da operação e a área de Qualidade, com o intuito de identificar e atuar nas principais oportunidades de ganhos de produtividade no processo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

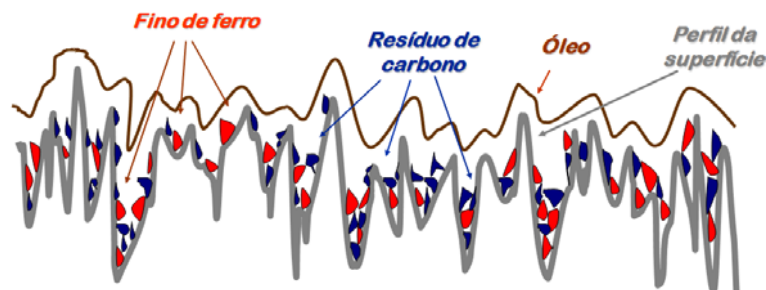
Como base para as alterações das variáveis de processo que foram propostas nesse trabalho, a revisão da literatura visa trazer uma breve explicação do

fenômeno metalúrgico da recristalização e do mecanismo de limpeza superficial presentes no processo de recozimento em caixa.

Para esse trabalho, além da revisão bibliográfica de recristalização e limpeza superficial, tornou-se necessário abordar conceitos referentes a dois típicos defeitos superficiais que o processo de recozimento em caixa deve evitar, que são a “Oxidação” (OX) e “Marca de Colado” (MJ).

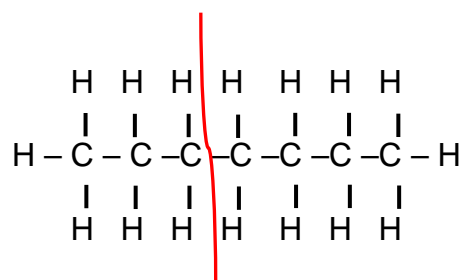
## 2.1 Limpeza Superficial

Em função do processo de redução da espessura da bobina ocorrida no Laminador de Tiras a Frio, onde é necessária a utilização de uma emulsão (tipo óleo em água) para lubrificar e refrigerar o processo de laminação, todo material via recozimento em caixa apresenta uma camada residual de óleo, finos de ferro e sabão de ferro (Figura 1). Se esta camada não for devidamente retirada da tira durante o processo de recozimento em caixa, gera-se uma limpeza ineficaz de superfície.



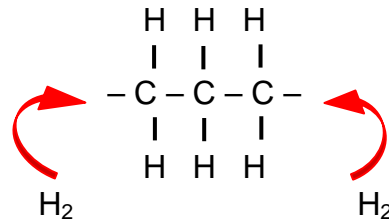
**Figura 1** – Representação esquemática da superfície da chapa de aço após o processo de Laminação a Frio.

Marinho<sup>(1)</sup> descreve que o mecanismo de limpeza do forno de recozimento em caixa tem como base dois principais pontos: a partir de 500°C já ocorreu o “craqueamento” dos hidrocarbonetos mais pesados presentes na superfície da tira laminada a frio, isto é, de peso molecular mais altos, gerando hidrocarbonetos mais leves, conforme ilustrado na figura 2.



**Figura 2** - Processo de dissociação e volatilização do óleo de laminação.

A alta concentração do gás hidrogênio favorece uma posterior hidrogenação daqueles hidrocarbonetos de menor peso molecular, e a temperatura mais elevada promove a formação de gás metano (Vide figura 3). A atmosfera de gás hidrogênio tem alto potencial em gerar metano, que por ser leve é facilmente eliminado do forno, e conseqüentemente reduz o carbono de superfície promovendo a limpeza da tira.



**Figura 3** - Processo de hidrogenização.

## 2.2 Recuperação, Recristalização e Crescimento de Grãos

Padilha e Siciliano<sup>(2)</sup> citam que a recuperação é a primeira etapa de modificações na estrutura de um metal encruado, que precede a recristalização em processos de recozimento, envolvendo a eliminação de defeitos de ponto (lacunas e intersticiais) e o alinhamento de discordâncias gerando contornos de baixo ângulo ou poligonais.

É um processo termicamente ativado, e, portanto dependente do tempo e da temperatura.

A recristalização pode ser definida como a eliminação de defeitos cristalinos por meio da migração de contornos de alto ângulo através da matriz deformada.

Quando, por ação da temperatura, há a formação de regiões livres de defeitos circundadas por contornos de alto ângulo, a recristalização prossegue pelo crescimento destes núcleos sobre a matriz encruada.

O crescimento das regiões recristalizadas continua até que os novos grãos se toquem mutuamente e até que já não haja matriz deformada para ser consumida.

É conveniente dividir a recristalização em dois estágios: nucleação e crescimento.

*Nucleação* corresponde ao aparecimento de novos grãos na matriz deformada.

*Crescimento* se refere à expansão dos novos grãos, substituindo os grãos deformados.

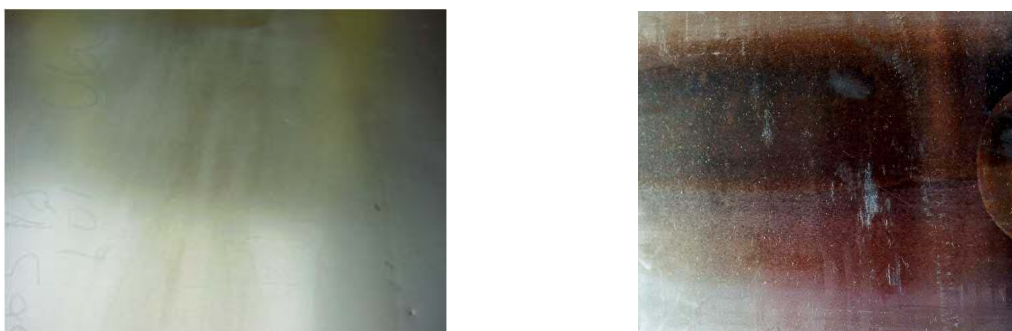
Embora estes estágios ocorram consecutivamente para um dado grão, eles podem se sobrepor, quando se considera todo o material.

A cinética da recristalização é semelhante à das transformações de fase que também envolvem nucleação e crescimento.

## 2.3 Oxidação (OX) e Marca de Colado (MJ)

### 2.3.1 Oxidação

O aço laminado a frio não é resistente ao ambiente, pois na presença de umidade, os átomos de ferro cedem dois elétrons para duas moléculas de água. Dois átomos de hidrogênio, um de cada molécula (H<sub>2</sub>O), recebem esses elétrons e se transformam em gás hidrogênio (H<sub>2</sub>). O restante da molécula de água forma íons OH<sup>-</sup>. Os íons de ferro ainda sofrem mais uma oxidação pelo oxigênio do ar e se transformam na substância castanha, conhecida como ferrugem. A figura 4 mostra o defeito OX após o recozimento em caixa.



**Figura 4** – Óxido no produto laminado a frio após o recozimento em caixa.

O agente de corrosão é em geral líquido, mas também pode ser gasoso ou sólido.

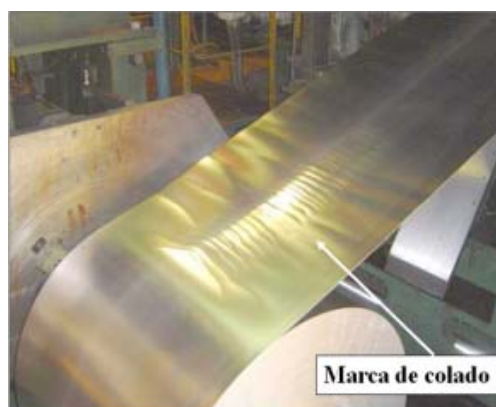
O defeito de “oxidação” é originado no recozimento em caixa estando normalmente relacionado com a(s) causa(s) a seguir:

- Material desabafado quente;
- Presença de oxigênio (indesejado) durante o processo;
- Atmosfera inadequada.

### **2.3.2 Marca de colado**

O defeito é caracterizado por “estrias superficiais” com curvaturas leves, médias ou de grandes extensões, podendo apresentar-se de forma isoladas ou aglomeradas, em uma ou nas duas faces da bobina.

A morfologia do defeito é predominante nas ocorrências do produto laminado a frio, sempre ocorrendo na região central da bobina no (sentido transversal), conforme pode ser observado na Figura 5.



**Figura 5** – Defeito marca de colado na entrada do laminador de encruamento reversível.

É durante o processo de recozimento em caixa que o defeito ocorre e, tem como causas mais relevantes, a alta temperatura de recozimento, a planicidade ruim da bobina, alta tensão de bobinamento/enrolamento no laminador a frio e baixa rugosidade da chapa.

Na ausência de transformação de fase, a maioria dos sólidos aumenta de dimensões durante o aquecimento e contrai durante o resfriamento. A expansão térmica tem papel crucial para a ocorrência do defeito, pois durante o ciclo térmico no recozimento em caixa que é composto por um processo de aquecimento e resfriamento, ocorrem os efeitos de dilatação (expansão térmica) e contração da bobina laminada a frio. O defeito Marca de Colado ocorre devido

a uma diferença de coeficiente de dilatação na bobina influenciado principalmente pelo descontrole das variáveis ou causas citadas anteriormente.

### 3 OBJETIVO

O presente trabalho tem o objetivo de aumentar a produtividade do FRCX#4, aumentando sua capacidade de produção em 3.500 t/mês, no período de 1 ano e com “zero” de investimento.

### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 4.1 Identificação, Observação e Análise do Problema

A necessidade de aumento da capacidade de produção do FRCX#4 é observada quando se avalia a demanda por aços laminados a frio via FRCX e sua respectiva capacidade de produção entre Ago/09 e Ago/10, onde fica claro que a demanda superava a capacidade de produção em cerca de 3.300t.

Para ser atingido o objetivo deste trabalho, aumentado a capacidade de produção do FRCX#4, reduzindo a diferença entre a capacidade de produção e a demanda de mercado, a equação (Figura 6) a seguir se faz necessária:

$$\uparrow \text{ PRODUTIVIDADE (t/h) : } \frac{\text{PESO DA CARGA (t)} \uparrow}{\text{TEMPO DE PROCESSO (hs)} \downarrow}$$

Figura 6 – Figura representativa da formula da produtividade do FRCX.

Algumas ações foram tomadas com o objetivo de aumentar o peso da carga, porem, devida a algumas limitações relacionadas ao dimensional do equipamento e mix de produção, decidiu-se concentrar os esforços na redução do *lead time* de processo: otimização dos tempos de Recozimento, otimização dos tempos de resfriamento, controle de sobressalentes críticos dos fornos e redução de paradas de desarmes dos fornos, utilizando-se de metodologia para garantir que absolutamente nenhuma característica mecânica, metalúrgica e superficial do material fosse afetada. Portanto, decidiu-se pela redução do *lead time* de processo, para aumentar a produtividade e assim atingir o objetivo proposto.

#### 4.2 Escolha do Material Teste

A primeira ação e mais importante no contexto foi a otimização dos ciclos térmicos. Ao se iniciar as análises e testes referentes à redução do lead time de processo, tornou-se necessário a escolha de determinada família (ciclos) de materiais processadas no FRCX#4.

Para a escolha do material, três critérios foram previamente definidos:

1. Não utilizar ciclos destinados a materiais que tem como destino indústria automobilística e linha branca;
2. Não utilizar ciclos destinados a materiais com elevado grau de estampabilidade.
3. Utilizar ciclos que tenham volume de produção representativa.

Trabalhando com materiais de “menores” exigências quanto à limpeza superficial e grau de estampabilidade, teríamos maiores possibilidades de obter sucesso.

Portanto, ficou definido que os materiais a serem escolhidos eram os processados com os Ciclos denominados de “n° 40” e “n°50”.

São aços baixo carbono em sua grande maioria de especificação SAE 1006 e SAE 1008.

#### **4.3 Estudo da Relação entre o Tempo de Processo e as Características Mecânicas, Metalúrgicas e Superficiais do Material**

Escolhido o material teste, o próximo passo visou o estudo das condições de processo, em especial o tempo, e as características finais do Produto.

Para avaliar efetivamente a Influência da redução do Lead Time de Processo, seguiram-se duas diferentes metodologias:

- 1) Análise estatística
- 2) Metodologia experimental em escala piloto.
- 3)

#### **4.4 Análise Estatística**

Antes de iniciarmos os testes, ficou claro a necessidade de avaliarmos quais eram as condições (Mecânicas e superficiais) atuais do material em relação as características solicitadas pelo cliente.

#### **4.5 Limpeza Superficial**

Em relação às condições de limpeza superficial, identificou-se a oportunidade de prosseguir com os testes, já que o valor médio obtido de 87% estava consideravelmente acima do limite mínimo estabelecido de 80%.

#### **4.6 Propriedades Mecânicas**

Para avaliar as características mecânicas do material, utilizamos os índices Cp e Cpk, que mostram a capacidade do processo em manter as propriedades mecânicas “dentro” das faixas de especificação.

Estipulou-se que o valor mínimo para avaliar se o processo permitiria a evolução das análises e testes seria de Cp e Cpk de 1,33, ou seja, , valor reconhecido na literatura como Capaz ou Adequado.

Foram analisadas os valores reais de propriedades obtidas ao longo de 1 ano, cerca de 8.751 bobinas, obtendo dados de Cp e Cpk para todas as Especificações e suas respectivas Propriedades mecânicas, onde ficou evidenciado valores consideravelmente acima do mínimo estabelecido.

#### **4.7 Resultados e Discussão – Análise Estatística**

A partir da análise dos resultados obtidos, ficou claro que havia uma enorme capacidade do processo em manter as características mecânicas “dentro” das especificações do produto, existindo, portanto a oportunidade de prosseguir com os estudos de redução do Lead Time.

## 5 METODOLOGIA EXPERIMENTAL EM ESCALA PILOTO

O estudo em escala piloto compreendeu na simulação do ciclo térmico (*Lead Time*) atualmente utilizado e na simulação do ciclo térmico proposto (Alterado, com menor tempo), onde o objetivo era avaliar nestas duas condições, qual seria o resultado em relação a estrutura metalografica do material, assumindo a hipótese de que a alteração proposta não iria afetar as características metalúrgicas dos CP's, independente da configuração (Atual x Proposta) utilizada.

### 5.1 Obtenção das Amostras

Para o proposto estudo foram utilizadas amostras de materiais BFH que são usualmente processados com os ciclos alvos de nosso estudo (n°40 e n°50), obtendo amostras com Graus e dimensões conforme abaixo:

Ciclo n° 40

GRAU 2710 e ESPESSURA >0,6

GRAU 2710 e ESPESSURA < 0,6

GRAU 2310 e ESPESSURA >0,6

GRAU 2310 e ESPESSURA < 0,6

Ciclo n° 50

GRAU 2310 e ESPESSURA >0,6

GRAU 2310 e ESPESSURA < 0,6

GRAU 2380 e ESPESSURA >0,6

GRAU 2380 e ESPESSURA < 0,6

### 5.2 Corpos de Prova para Tratamento de Recozimento

Conforme pode ser observado na Tabela 1, foram confeccionados um total de 48 CP's para que fosse possível simular e COMPARAR da situação "ATUAL" e "PROPOSTA" em diversos estágios de um ciclo térmico de recozimento em caixa.

**Tabela 1** – Numeração dos CP's e suas respectivas características

LOTE/MATERIAL	CICLO	ESTAGIO	N°
(2710 / 0,45)	N°40 - ATUAL	EST1	1
		EST2	2
		EST3	3
(2710 / 0,45)	N°40 - PROPOSTA	EST1	4
		EST2	5
		EST3	6
(2710 / 1,20)	N°40 - ATUAL	EST1	7
		EST2	8
		EST3	9
(2710 / 1,20)	N°40 - PROPOSTA	EST1	10
		EST2	11
		EST3	12
(2310 / 0,45)	N°40 - ATUAL	EST1	13
		EST2	14
		EST3	15
(2310 / 0,45)	N°40 - PROPOSTA	EST1	16
		EST2	17
		EST3	18
(2310 / 1,20)	N°40 - ATUAL	EST1	19
		EST2	20
		EST3	21
(2310 / 1,20)	N°40 - PROPOSTA	EST1	22
		EST2	23
		EST3	24
(2310 / 0,60)	N°50 - ATUAL	EST1	25
		EST2	26
		EST3	27
(2310 / 0,60)	N°50 - PROPOSTA	EST1	28
		EST2	29
		EST3	30
(2310 / 1,20)	N°50 - ATUAL	EST1	31
		EST2	32
		EST3	33
(2310 / 1,20)	N°50 - PROPOSTA	EST1	34
		EST2	35
		EST3	36
(2310 / 0,60)	N°50 - ATUAL	EST1	37
		EST2	38
		EST3	39
(2310 / 0,60)	N°50 - PROPOSTA	EST1	40
		EST2	41
		EST3	42
(2380 / 1,06)	N°50 - ATUAL	EST1	43
		EST2	44
		EST3	45
(2380 / 1,06)	N°50 - PROPOSTA	EST1	46
		EST2	47
		EST3	48



Cada um destes CP's com dimensão 110\*150mm , sendo a maior dimensão no sentido de laminação (Figura 7).



Figura 7 – Representação dos CP's e o Agrupamento dos mesmos.

Depois de preparados, os CP's foram identificados com numeração de 1 a 48, e os grupos (Cada um com 4 CP's de diferentes graus e dimensões) de 1 a 12 para facilitar a posterior seqüência de Tratamento térmico como veremos a seguir.

### 5.3 Tratamento Térmico de Recozimento em Escala Piloto

Para identificar o comportamento do material em relação à recristalização diante das etapas de um ciclo térmico na Configuração ATUAL e na PROPOSTA, foram estabelecidos os tempos abaixo (Tabela 2):

Tabela 2 – Tempos e temperaturas dos ciclos térmicos (Piloto) antes e depois da alteração. Destacado com o círculo, os grupos de recozimento

TESTE	Nº	Configuração	GERAL	G.1		G.2		G.3	
				TEMPO / AMOSTRA (EST1)	TEMPO / AMOSTRA (EST2)	TEMPO / AMOSTRA (EST1)	TEMPO / AMOSTRA (EST2)	TEMPO / AMOSTRA (EST3)	
TESTE 1	40	ATUAL	0 a 400°C - 40 min	400°C a 650°C 160 min	1, 7, 13, 19	650 a 730°C 170 min	2, 8, 14, 20	710 a 650°C 110 min	1, 9, 15, 21
		PROPO	0 a 400°C - 40 min	400°C a 650°C 145 min	4, 10, 16, 22	650 a 730°C 80 min	5, 11, 17, 23	710 a 650°C 95 min	6, 12, 18, 24
TESTE 3	50	ATUAL	0 a 400°C - 40 min	400°C a 650°C 160 min	25, 31, 37, 43	650°C a 720°C 110 min	26, 32, 38, 44	720 a 680°C 80 min	27, 33, 39, 45
		PROPO	0 a 400°C - 40 min	400°C a 650°C 145 min	28, 34, 40, 46	650°C a 720°C 80 min	29, 35, 41, 47	680°C a 600°C 55 min	30, 36, 42, 48

Foram executados 4 Testes/Simulações :

- TESTE 1) Ciclo nº 40 ATUAL – 460 min (TOTAL)
- TESTE 2) Ciclo nº 40 PROPOSTO – 400 min (TOTAL)
- TESTE 3) Ciclo nº 50 ATUAL – 510 min (TOTAL)
- TESTE 4) Ciclo nº 50 PROPOSTO – 440 min (TOTAL)

Em resumo:

- Ciclo nº 40 - Redução de 13% no tempo total de ciclo.
- Ciclo nº 50 - Redução de 14% no tempo total de ciclo.

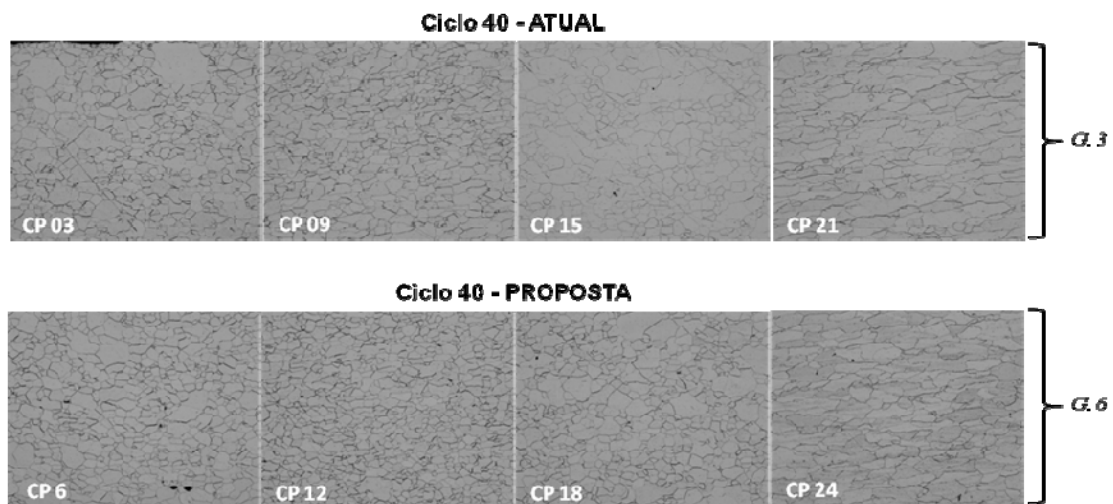
Assim que cada um dos 12 Grupos (Destacados com os círculos na tabela nº2) tivesse seu tempo concluído, o mesmo era retirado do forno e resfriado rapidamente (água, gelo e álcool) para que posteriormente tivesse sua estrutura metalografica analisada.

Os CP's do GRUPO 1 foram comparados com os CP's do GRUPO 4, os CP's do GRUPO 2 foram comparados com os CP's do GRUPO 5, assim sucessivamente até a comparação dos CP's do GRUPO 9 com os CP's do GRUPO 12.

#### 5.4 Resultados e Discussão – Teste em Escala Piloto

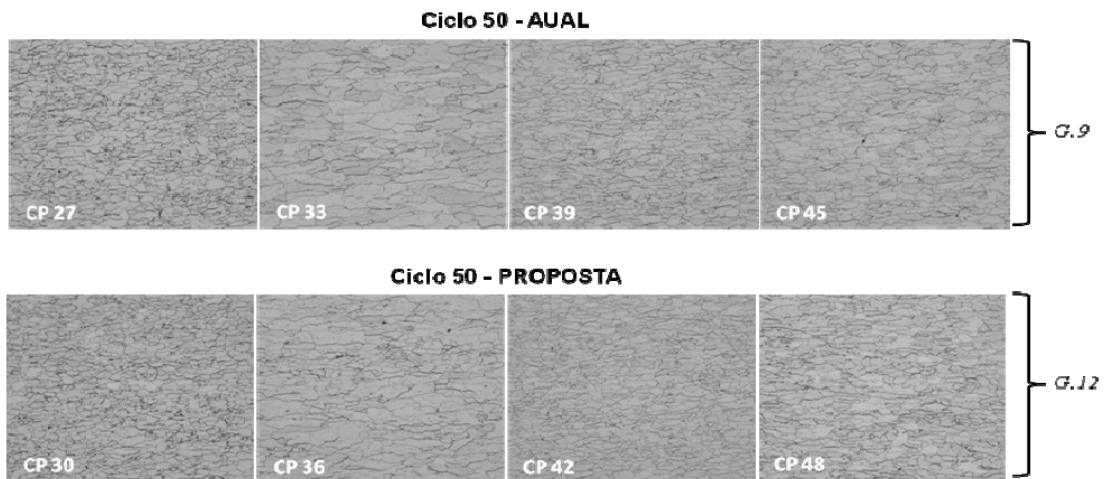
Todos os estágios foram avaliados, tendo como foco principal o estagio nº3, por se tratar do material após o final do ciclo térmico. Será ilustrada abaixo a comparação (atual x proposta) apenas do material após a finalização do ciclo térmico.

Na Figura 8, encontram-se as metalografias obtida dos cp's do grupo 3 e grupo 4, onde, quando comparadas, foi possível afirmar que não houve alteração na microestrutura do material, sendo que a recristalização ocorreu de maneira completa, independente da redução de 12% do tempo de recozimento.



**Figura 8** – Metalografias dos CP's antes e depois a alteração, referente ao ciclo nº40. Ampliação 200 vezes.

Na Figura 9, encontram-se as metalografias obtidas dos CP's do grupo 3 e Grupo 4, onde, quando comparadas, foi possível afirmar que não houve alteração na microestrutura do material, sendo que a recristalização ocorreu de maneira completa, independente da redução de 13% do tempo de recozimento.



**Figura 9** – Metalografias dos CP's antes e depois a alteração, referente ao ciclo n°50. Ampliação 200 vezes.

Não houve alteração nas características metalúrgicas do material após as reduções de 12% (Ciclo 40) e 13% (ciclo 50) no tempo de ciclo.

## 6 AÇÕES

1) Primeiro ponto e essencial para o trabalho foi criar os indicadores gerenciais de controle da planta, desenvolvido um programa em SQL para obter as informações do banco de dados do forno e assim criar os conceitos de produtividade que nos daria o norte de nossos pontos de atuação na planta. Os principais indicadores criados foram :

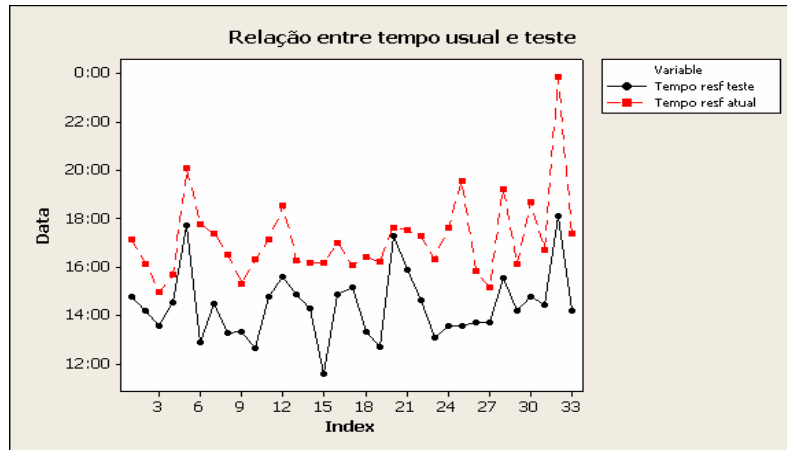
- Carga média: Média dos pesos das bobinas montadas na base;
- Número de Descarga: Número de bases que terminou o lead time ;
- Altura da carga: Soma das larguras das bobinas na carga;
- Produtividade do forno: carga média / Tempo de forno
- Produtividade do resfriador: carga média/ Tempo de resfriamento
- Produtividade da base: carga média/Tempo de forno + tempo de resfriamento
- Tempo de setup- tempo de preparação contendo as purgas e as trocas de atmosfera

Após a definição dos conceitos de lead time, tempos de ciclo e produtividade de toda a planta e de suas características de produção ser por bateladas e com tempos de início do ciclo até a finalização superior a 24 horas, criamos como tempo takt ou o seu ritmo de produção como sendo o número de descargas, como tínhamos uma carga média em torno de 67ton, o nosso ritmo teria que ser superior a 15 descargas dia para atendermos nossa demanda.

2) Após o estudo teórico, análise estatística e análise dos resultados obtidos com os testes em escala piloto, obteve-se embasamento técnico para alterar os ciclos n° 40 e n° 50, em determinados estágios e com determinada intensidade.

- **Ciclo n°40** : Redução de 5,5 % (Em média) no tempo de Recozimento , obtendo um ganho de 2 HORAS.
- **Ciclo n°50** : Redução de 6,0 % (Em média) no tempo de Recozimento, obtendo um ganho de 3 HORAS.

3) Identificou-se também a necessidade de análise do processo de resfriamento, onde estávamos com constante paradas de forno aguardando liberação de base em resfriamento, com isso resolvemos aumentar a temperatura de descarga do material após resfriamento de 90 para 115°C em materiais menos nobre onde com isso conseguiríamos a liberação das bases com um tempo menor , contribuindo também para a redução do lead time do processo. Segue uma carta de ciclo ( figura 10) com alguns resultados após teste piloto na redução do resfriamento.

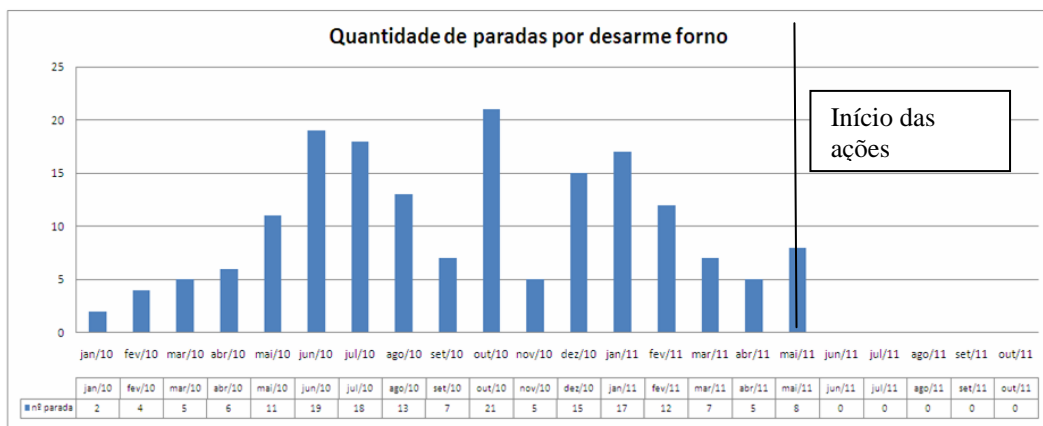


**Figura 10** – Tempo de resfriamento dos testes realizados com descarga de 115° (Tempo resf teste).

- **Ciclo n°40** : Redução de 8% (Em média) no tempo de Resfriamento , obtendo um ganho de 2 HORAS.
- **Ciclo n°50** : Redução de 6,0 % (Em média) no tempo de Recozimento, obtendo um ganho de 7 HORAS.

4- Outra ação importante foi atuar nos sobressalentes críticos dos fornos, este foi identificado e criado uma gestão de forma a manter os fornos com a melhor eficiência.

5- Identificado uma ocorrência grande de desarmes nos fornos por variação de temperatura de controle fora do padrão, com isso fez-se um estudo através de diagrama de causas e efeito. Após vários testes conseguimos ajustar o limite de temperatura do forno de forma que as variações não ocasionassem o seu desarme no qual contribuía muito para aumentar o lead time do processo. Segue um gráfico (Figura 11) que mostra o número de ocorrências de desarme e a redução após as ações.



**Figura 11** – Número de paradas por desarme dos fornos.

## 7 VERIFICAÇÃO

Torna-se essencial a etapa de verificação, para que fique explicitado que conseguimos atingir nosso objetivo, após todas as análises e estudos executados.

### 7.1 Limpeza Superficial

Após a alteração dos ciclos térmicos, foram processados cerca de 130.000t de materiais até Agosto de 2011, onde se observa que não houve nenhum tipo de impacto na Limpeza do material.

### 7.2 Propriedades Mecânicas

Assim como foi feito anteriormente para análise previa das características mecânicas do material, para a etapa de verificação, também utilizou-se os índices Cp e Cpk, que mostram a capacidade do processo em manter as propriedades mecânica “dentro” das faixas de especificação.

Foi possível observar, que o processo se manteve totalmente capaz de obter as propriedades citadas conforme o especificado, inclusive, em muitos casos apresentando as características de um processo 6 Sigma (Cp e Cpk maiores que 2), que é tratado na literatura com excelência em qualidade.

### 7.3 Oxido (OX) e Marca de Colado (MJ)

Além dos objetivos principais do processo de recozimento em caixa, existem cuidados que devem ser tomados referentes a configuração do ciclo térmico para evitar defeito Oxidação e Marca de Colado.

Foi possível observar, que após a alteração dos ciclos “n°40” e “n° 50”, não houve nenhum indício de aumento na ocorrência desses defeitos, indicando que a alteração executada não gerou impacto neste aspecto.

## 8 CONCLUSÕES

Foi possível reduzir o *Lead Time* de processo do FRCX#4 a partir das otimizações dos tempos de processo dos ciclos n° 40 e n° 50 , reduções das paradas e gestão de sobressalentes,  *aumentando a produtividade, sem gerar nenhuma perda na qualidade final do produto.*

Comparando o ritmo de produção médio antes que era de 11 desc/dia, e após a realização do trabalho de 15 Desc/DIA ( Ago/10 a Set/12), obteve-se um ganho de 26,7%, conforme pode ser observado na Figura 12.

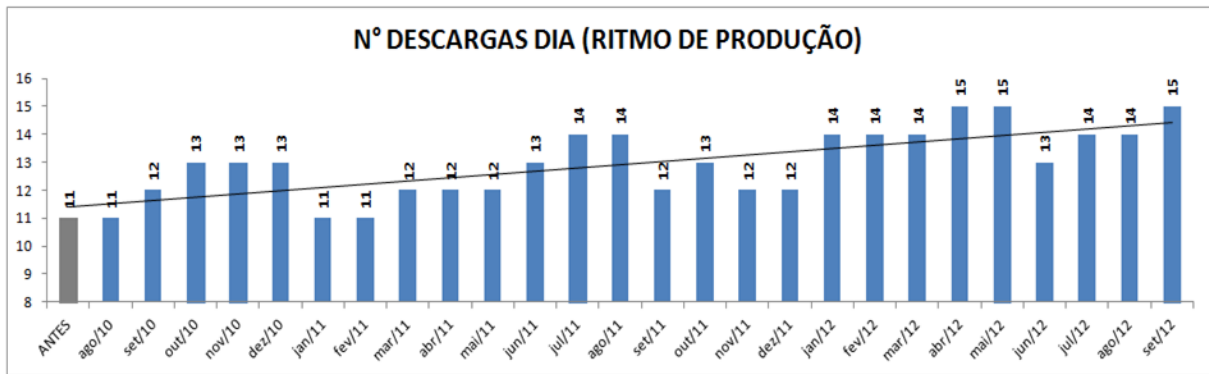


Figura 12 – Evolução mensal do ritmo de produção do FRCX#4.

Comparando a produtividade média antes que era de 1,26 t/h, e após a realização do trabalho de 1,50 t/h ( Ago/10 a Set/12), obteve-se um ganho de 16,3% na produtividade, conforme pode ser observado na figura 13.

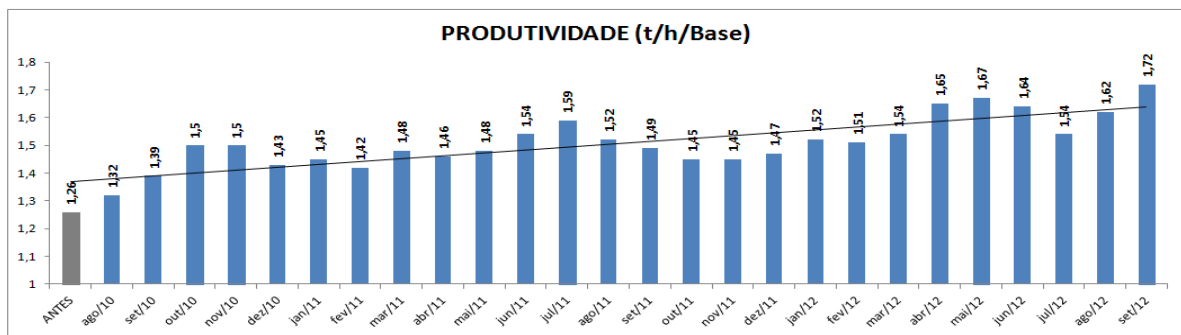


Figura 13– Evolução mensal da Produtividade do FRCX#4.

Este expressivo ganho na produtividade proporcionou aumento da capacidade de produção, gerando valores referentes a volume de produção superiores aos estabelecidos anteriormente como meta.

Após a implantação do trabalho, foram obtidos 5 (cinco) recordes de produção (Dados até set/12), superando a nossa capacidade anterior em 4.737 t.

## REFERÊNCIAS

- 1 S. D. MARINHO JR, Material Laminado a Frio - Peça exposta para a indústria automobilística - Evolução do ciclo extra limpo na CSN – Contribuição Técnica ao 66° Congresso de Metalurgia da ABM, Junho de 2011, São Paulo, SP.
- 2 A.F. Padilha e F. Siciliano Jr., Encruamento, Recristalização, Crescimento de Grão e Textura, Editora ABM, 3ª Edição, 2005.
- 3 W. Cristina, Lean Seis Sigma – Introdução as Ferramentas do Lean Manufacturing, Werkema Editora, Volume 4, 2010, Belo Horizonte, MG.