



AUMENTO DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO POR UM PROCESSO SISTEMATIZADO DE INOVAÇÃO

Maria Cristina Carrupt Ferreira Borges

UNESP/FEG/DPD

cristina.carrupt@terra.com.br

Ubirajara Rocha Ferreira

UNESP/FEG/DPD

ferreir@feg.unesp.br

Resumo

A necessidade de aumentar a capacidade de produção da área de tratamento térmico de cunhas de fricção de uma indústria de fundição de aço, com o menor custo possível, sem alteração no equipamento e mantendo a qualidade do produto, motivou buscar um processo de inovação cuja execução utiliza a metodologia do ciclo PDCA.

No planejamento, optou-se por um novo dispositivo de tratamento térmico, onde a definição do material e o projeto foram feitos em parceria com um fornecedor especializado, objetivando maior resistência a quente, menor peso e, com isso, maior durabilidade. Na validação do processo, na etapa de verificação, foram realizados ensaios de Dureza Brinell (HB), testes estatísticos e um acompanhamento mensal da produção. Durante a implantação do novo dispositivo, foram necessárias algumas ações corretivas no projeto, para aprimorar a resistência mecânica.

Como resultado dessa inovação, verificou-se um ganho superior a 80% na produção, após 3 (três) meses de acompanhamento, com um investimento inicial com *pay-back* de 30 dias.

Palavras-Chaves: Inovação, Capacidade de Produção, PDCA.

Abstract

In order to increase the production capacity of the friction shoes at the heat treatment area of a Steel Industry, with low cost, without modifying the equipment, keeping the product quality, innovation was required, using the PDCA method.

During the planning step, it was concluded that the best way to achieve this goal was through the innovation of the heat treatment fixture. From this, with a specialized partnership supplier it was selected the material and the design of this new fixture, seeking a better heat resistance, low weight and, with this, higher durability. To validate this process, in the checking step, it was realized Brinell Hardness tests (HB), statistical hypothesis testing, besides a monthly follow up of the production increase. It was necessary some corrective

actions in the project, to achieve the mechanical properties improvement and, again, take some results.

Through this innovation it was possible to achieve more than a 80% gain on the heat treated parts quantity, with an initial investment with payback of 30 days.

Keywords: Innovation, Production Capacity, PDCA.

1 Introdução

Em Logística, o modal ferroviário é um dos transportes de maior crescimento. Fortemente incentivado no exterior; tem consumidores em potencial de produtos desse seguimento, aquecendo mercados como o Brasil e a China, hoje nossa maior concorrente. Uma peça de desgaste chamada cunha de fricção, produzida por uma Fundição no Brasil, teve, em agosto de 2005, uma produção para atender os EUA, de 23 mil peças/mês. Com demanda crescente, surgiu a oportunidade de aumentar, gradativamente, esse número até o patamar de 32 mil peças/mês, no período de um ano. A capacidade máxima de tratamento térmico para esse item numa fundição, era de 23.800 peças/mês. A troca dos fornos existentes por fornos maiores, acarretaria num aumento tanto no consumo de energia elétrica, quanto no efetivo. Isso afetaria, de forma negativa, o índice de produtividade. Com isso, uma alternativa foi uma ação no dispositivo de tratamento térmico, usado para o carregamento dessas peças, de forma que fosse possível tratar um maior número de peças dentro do mesmo tempo de processo. A inovação, incremental, desse dispositivo possibilitou um aumento de 83,3% na capacidade de produção, tornando possível ir além da meta, com a mesma qualidade, porém com um inevitável aumento de quadro, partindo de um investimento inicial que teve *pay-back* de 30 dias.

2 Objetivo

Apresentar um processo de inovação trabalhado de forma sistematizada para aumentar, numa empresa de fundição, a capacidade de produção da área de tratamento térmico de cunhas de fricção com o menor investimento possível e mantendo o mesmo padrão de qualidade das peças.

3 Estrutura do Trabalho

No item seguinte são apresentados os fundamentos teóricos que fundamentam esse trabalho, como as definições de aços comuns e aços inox, tratamentos térmicos, ensaio de dureza Brinell e testes estatísticos. Na seqüência é apresentada a proposição do trabalho seguindo a metodologia PDCA e o desenvolvimento propriamente dito, em suas etapas de planejamento, execução, verificação de resultados e ações corretivas. Ao final, as conclusões e as referências bibliográficas.

4 Fundamentos Teóricos

Aços são ligas Fe-C onde o carbono é o elemento principal, variando de 0,008% até 2,11%. São ainda as ligas metálicas que mais se prestam às operações de tratamento térmico, porque sua estrutura, durante essas operações, pode sofrer profundas modificações, acarretando, em consequência, propriedades de alto significado para suas aplicações na indústria e na engenharia em geral (CHIAVERINI, 2003, p.09)

Os aços inoxidáveis são resistentes à corrosão e a alterações microestruturais no tratamento térmico devido à presença de determinados elementos de liga.

O tratamento térmico é a forma mais rápida e segura de tornar uma peça metálica apta a suportar as cargas a que serão submetidas, quando em situação de trabalho. Esse processo corresponde, fundamentalmente, a operações de aquecimento e resfriamento controlado, que

objetivam alterações nas propriedades físicas de peças brutas de fusão, acabadas ou semi-acabadas.

O ensaio de dureza Brinell consiste em comprimir lentamente uma esfera de aço temperado, de diâmetro D , sobre uma superfície plana, polida e limpa de um metal, por meio de uma carga F , durante um tempo t , produzindo uma calota esférica de diâmetro d (VOTORANTIM METALS, Apostila de Ensaios Mecânicos, p.55, 2003). A dureza Brinell, representada pelas letras HB (*Hardness Brinell*) é a relação entre a carga aplicada (F) e a área da calota esférica impressa no material ensaiado (A_c).

O Teste de Hipóteses da Diferença entre as Médias usado nesse trabalho está baseado na distribuição *t-Student* para amostras pequenas.

5 Proposição

Aumentar o número de peças tratadas, pela inovação no dispositivo utilizado para o carregamento dessas peças durante o tratamento térmico, atingindo a meta de 32 mil peças/mês, sem substituição dos fornos, sem alteração no tanque de têmpera e, principalmente, mantendo o mesmo padrão de qualidade.

6 Metodologia e Desenvolvimento

A metodologia usada nesse projeto foi a do **Ciclo PDCA**. O Ciclo PDCA (Ciclo de Shewhart ou Ciclo de Deming), foi introduzido no Japão após a guerra, idealizado por Shewhart e divulgado por Deming, quem efetivamente o aplicou. O ciclo de Deming tem por princípio tornar mais claros e ágeis os processos envolvidos na execução da gestão, como por exemplo, na gestão da qualidade, dividindo-a em quatro passos.

O ciclo começa pelo planejamento, em seguida a ação ou conjunto de ações planejadas são executadas, checa-se o que foi feito, se estava de acordo com o planejado, constantemente e repetidamente (ciclicamente) e toma-se uma ação para eliminar ou ao menos mitigar defeitos no produto ou na execução.

P (plan) = planejamento Estabelecer missão, visão e objetivos (metas);

D (do) = execução Realizar, executar as atividades planejadas no passo anterior;

C (check) = verificação Monitorar e avaliar os processos e resultados periodicamente;

A (act) = agir Agir de acordo com o avaliado e, eventualmente, determinar novos planos de ação.

6.1 Planejamento (Plan)

Os fornos de têmpera e revenido dessa área trabalham em sistema contínuo, ou seja, para cada bandeja (conjunto de dispositivo + peças) que termina o ciclo (sai do forno de revenido) uma tem que entrar no forno de têmpera (início do ciclo). O tempo total, que a bandeja leva para percorrer todo o ciclo é de 2h50min. Porém, o “Tap” (tempo dentro do forno) é de 20 min.

Com isso, era necessário dispormos de pelo menos 15 bandejas: 4 para o forno de têmpera, 7 para o forno de revenido, 2 para ficarem montadas aguardando a entrada no forno de têmpera e 2 como reservas.

O dispositivo usado para o carregamento dessas peças era fundido, pela própria empresa, em aço-carbono comum (SAE 1020), pesando 154 kg e com uma vida útil de aproximadamente dois meses. Possibilitava tratar 12 peças por dispositivo, montadas conforme a Figura 1. Como o “Tap” é de 20 min, a capacidade era de 36 peças/hora.



A idéia então, era substituir esse dispositivo por um que fosse mais resistente, mais leve e que possibilitasse tratar um número maior de peças com o mesmo Tap.

O dispositivo sendo mais leve proporcionaria um ganho na quantidade de metal. Esse ganho poderia então, teoricamente, ser revertido em uma quantidade a mais de peças e, dessa forma, a relação metal/água continuaria estável e a qualidade do tratamento térmico também.

Para acomodar essa quantidade a mais de peças, pensou-se em um dispositivo de dois andares. O sistema de abertura das portas dos fornos é feito através de cilindros, que podem ser regulados de acordo com a altura da bandeja, até o limite da altura da câmara, o que era suficiente para comportar um dispositivo de dois andares e, uma vez que a quantidade de metal dentro do forno não seria alterada, a potência dos fornos seria suficiente para sustentar a temperatura durante o tempo de tratamento, sem aumentar o tap.

Dessa forma, partimos para o desenvolvimento do novo dispositivo.

6.2 Execução (Do)

A premissa era criar um dispositivo *mais leve, mais resistente e com dois andares*.

1º. passo: selecionar um aço que tivesse uma *elevada resistência mecânica a quente*, pois a temperatura de têmpera praticada é de 900°C e o material sofreria um carregamento mínimo de 135,6kg (12 peças) e, que *não tivesse suas propriedades mecânicas alteradas pelo tratamento térmico* realizado nesse processo, o que garantiria um aumento considerável na vida útil do dispositivo.

Satisfazendo as duas condições acima, conseqüentemente conseguir-se-ia um *dispositivo mais leve*, porque seria possível reduzir a quantidade de material usado.

Determinou-se então que o material seria um *Aço Inox Austenítico ASTM-A-297, Grau HT*.

2º. passo: projetar o dispositivo propriamente dito, de forma a suportar o carregamento e a temperatura de trabalho aos quais seria submetido.

Para o desenvolvimento desse projeto, foi feita uma parceria com uma empresa especializada em projetos e fundição de dispositivos em aço inox, para tratamento térmico.

O dispositivo apresentado é composto de três elementos, nas seguintes quantidades: duas grelhas, cinco postes de sustentação e duas guias da grelha.

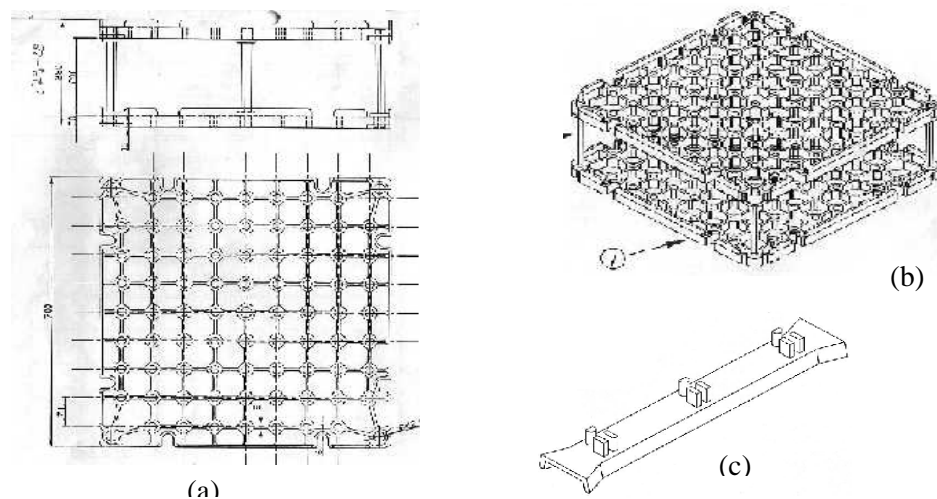


Figura 2: Projeto do novo dispositivo; (a) vistas frontal e superior do dispositivo; (b) perspectiva do dispositivo; (c) guia da grelha.

As dimensões das grelhas são: 700x700x30 (mm), cada uma pesando 35 kg. Os postes medem: Ø30x260 (mm) e pesam 1,5kg cada. As guias da grelha medem: 60x700x15 (mm) e pesam 3,0kg cada.

Somando-se o peso de todos os elementos que compõem o dispositivo, este teve um peso final de 83,5Kg. Comparando esse valor com o peso total do dispositivo mostrado na Figura 1, tivemos um ganho de 70,5kg, ou 6,2 peças a mais.

Sua vida útil é estimada em 18 meses, ou seja, 16 meses a mais que o dispositivo anterior. Além de seis meses de garantia dados pelo fornecedor.

A Figura 3 mostra o dispositivo propriamente dito, com a montagem das peças.

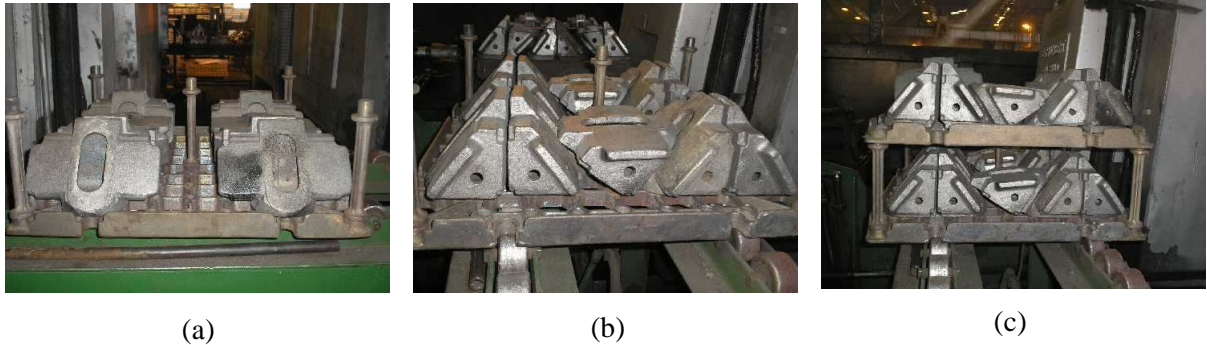


Figura 3: (a) vista frontal da grelha inferior; (b) vista lateral da grelha inferior; (c) vista lateral do dispositivo.

6.3 Verificação dos Resultados (Check)

Esta etapa foi dividida em três partes:

- Determinação da quantidade de peças por dispositivo – ensaio de HB;
- Teste estatístico para a confirmação da qualidade;
- Acompanhamento do volume de produção durante os meses de Julho e Agosto.

1ª. Etapa – Ensaio de HB:

Esse ensaio tem como objetivo verificar se todas as peças, termicamente tratadas, atingiram a faixa de dureza necessária para aprovação. O resultado sendo positivo comprova a eficiência do tratamento térmico.

Premissas adotadas para todos os testes que se seguiram:

- Foram tratadas sempre quatro bandejas (total de bandejas que o forno de têmpera comporta), para cada uma das quantidades testadas;
- Todas as bandejas percorreram todo o ciclo do processo (têmpera e revenido);
- Após completarem o ciclo, foi realizado o Ensaio de Dureza Brinell (HB) em 100% das peças;
- Faixa de aprovação para o ensaio: 418 – 515 HB;
- Condição de aprovação: 100% OK (dentro da faixa de aprovação).

Esse ensaio é realizado em três etapas: preparação da peça, impressão da calota utilizando uma carga de 3000 kg e leitura do diâmetro da calota impressa.

Testes de capacidade:

Considerando que a diferença de peso entre o dispositivo novo e o antigo é de 70,5kg, que equivalem a 6,2 peças, partimos do princípio que o novo dispositivo poderia comportar, no mínimo, 18 peças (12 do dispositivo anterior + pelo menos 06 de ganho) divididas

igualmente entre os dois andares do novo dispositivo. Dessa forma, manteríamos a relação metal/água estável.

Resumo dos Resultados:

Tabela 1 – Resumo dos resultados obtidos na primeira etapa.

	Qde. De Peças/Disp.	Qde. Total de Peças Ensaçadas (4 bandejas)	% Total de Peças Aprovadas no Ensaio de HB (418 HB -515 HB)	Status de Utilização
1º Teste	18	72	100%	Aplicável
2º Teste	20	80	100%	Aplicável
3º Teste	22	88	100%	Aplicável
4º Teste	24	96	90%	Não Aplicável

A partir dos resultados acima, definiu-se que o número máximo não poderia ultrapassar 22 peças/dispositivo.

Com isso, passar-se-ia de 36 peças/hora para 66 peças/hora, representando um aumento de 83,3% na capacidade de produção.

2ª. Etapa – Testes estatísticos:

Uma vez definida a quantidade de peças por dispositivo, era necessário confirmar se a qualidade, tanto das peças tratadas no primeiro andar quanto daquelas tratadas no segundo andar, seria a mesma. Essa comprovação era essencial para a validação do processo de tratamento térmico com esse novo dispositivo. Para isso, foi realizado um teste estatístico.

A variável principal a ser mantida, em se tratando de um processo de tratamento térmico, é a temperatura. Para colhermos os dados de temperatura para a realização do teste estatístico, foi feito um levantamento térmico.

Levantamento Térmico:

Nesse teste foi monitorada a temperatura, durante o processo de têmpera, de duas peças que ocupavam a mesma posição, porém uma em cada andar do dispositivo. Escolhemos a posição mais crítica que estaria sujeita as variações de temperatura devido à circulação de ar dentro do forno. Essas posições são chamadas de *Ponto 1* e *Ponto 2*, conforme Figura 4.

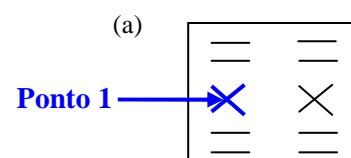
O monitoramento da temperatura é feito através de um termopar mineral do tipo K, onde uma extremidade desse termopar é introduzida ou fixada à peça e a outra é ligada a um equipamento chamado *Field Logger Novus*. Os dados são enviados à um software chamado *Field Chart Novus* que registra a informação sob a forma de gráfico. A Figura 5 mostra o gráfico gerado.

- Foram monitoradas sempre duas peças por conjunto para um total de 25 conjuntos, ou seja, cinquenta peças;
- A montagem de cada bandeja e o posicionamento dos termopares foi conforme a representação esquemática mostrada na Figura 4;



comparação foi a temperatura de têmpera, que 70°C – 900°C;

das peças entre o início e o fim da 4ª região pontos 1 e 2, conforme a Tabela 2;



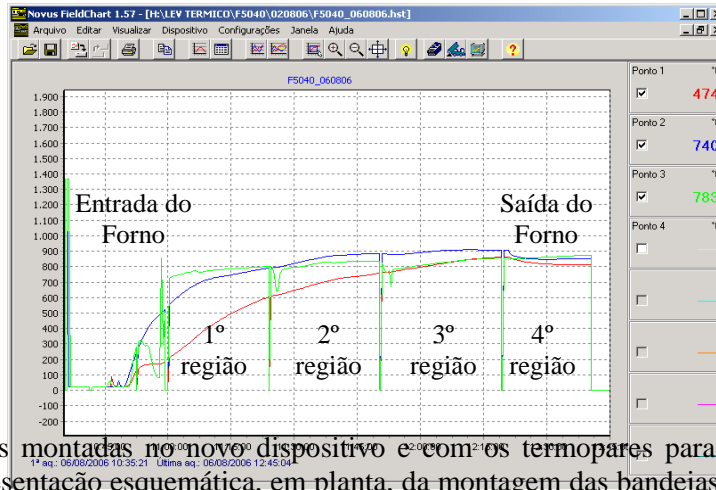


Figura 4: Peças montadas no novo dispositivo e com os termopares para o levantamento térmico. Representação esquemática, em planta, da montagem das bandejas e do posicionamento dos termopares; (a) bandeja do primeiro andar com 10 peças; (b) bandeja do segundo andar com 12 peças

Figura 5: gráfico gerado pelo software, para cada bandeja monitorada.

Tabela 2: Leitura dos termopares

	PONTO 1	PONTO 2
Médias Finais:	890,4	881,2

As temperaturas médias finais ficaram dentro da faixa de aprovação (870°C – 900°C).

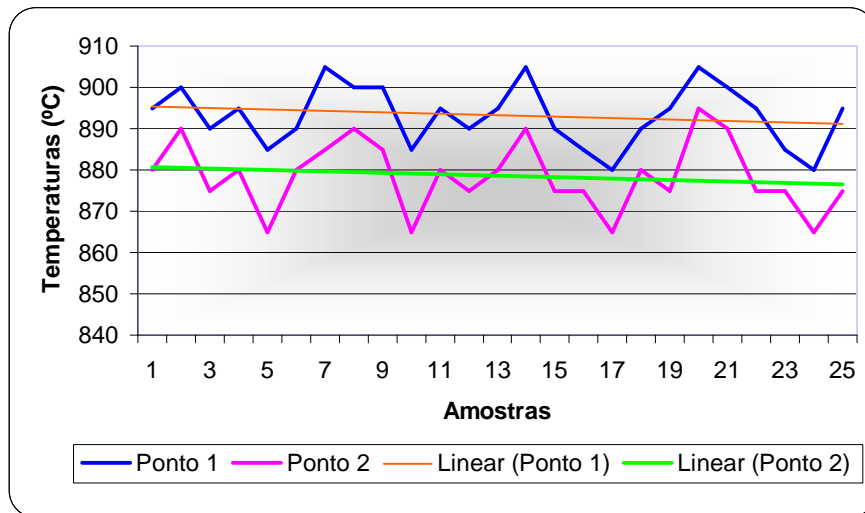


Figura 6: gráfico comparativo dos resultados encontrados para as temperaturas médias, entre a entrada e a saída da 4º região, nos pontos 1 e 2.

Notamos que algumas amostras ficaram com seus valores médios cinco pontos fora da faixa de aprovação. Porém, se observarmos o gráfico da Figura 7 que considera apenas a

temperatura de saída da peça, no final da 4ª região, nenhuma amostra teve temperatura fora da faixa de aprovação (870°C – 900°C).

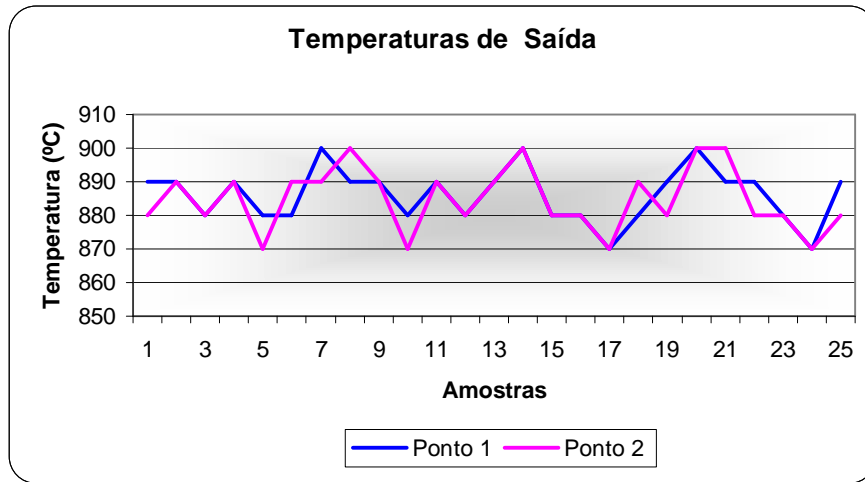


Figura 7: gráfico comparativo dos resultados encontrados para as temperaturas de saída da 4ª região, nos pontos 1 e 2.

É possível observar também, através da Figura 7, que praticamente não há diferença entre a bandeja do primeiro andar e a bandeja do segundo andar.

Teste de Hipóteses

Comparamos todas as temperaturas de saída da bandeja inferior com as temperaturas da bandeja superior, considerando o caso de pequena amostra ($n_1 < 30$ e $n_2 < 30$).

μ_1 = temperatura média de saída para a peça na bandeja inferior

μ_2 = temperatura média de saída para a peça na bandeja superior.

Precisamos testar se $\mu_1 = \mu_2$. Consideramos a hipótese nula como sendo: $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$, para $\alpha = 0,05$ e considerando variâncias diferentes, $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$.

Tabela 3: resultados do teste estatístico para os valores de temperatura de saída.

	Variável 1	Variável 2
Média	886	885,2
Variância	66,67	109,33
Observações	25	25
Hipótese da diferença das médias	0	
Gl	45	
Stat t	0,301	
P (T <= t) uni-caudal	0,382	
t crítico uni-caudal	1,679	
P (T <= t) bicaudal	0,764	
t crítico bicaudal	2,014	

O valor crítico de t , com $\alpha = 0,05$ para o teste uni-caudal, é 1,679. Portanto, a região de rejeição para este teste é: *Rejeitar H_0 se $T > 1,679$.*

Na Tabela 3, a evidencia amostral, “Stat t ” é 0,301. Sendo assim, $t < t$ crítico e portanto, H_0 é aceita, ou seja, não há diferença entre as temperaturas médias de saída das peças tratadas nas bandejas inferior e superior.

3ª. Etapa – Acompanhamento em uso contínuo:

Nessa etapa, acompanhamos o desempenho dos novos dispositivos durante 02 meses de produção efetiva, Julho e Agosto.

Tabela 4: Resumo dos resultados obtidos na terceira etapa.

	Peças para exportação.	Peças para o mercado interno	Total produzido	% de aumento da capacidade de produção:	Meta a ser atingida para a autonomia da área:
Julho	26.243	2.373	28.616	29,0%	62,3%
Agosto	27.200	3.190	30.390	37,0%	

7 Ações Corretivas (Act)

O problema detectado nos dispositivos novos, durante o mês de agosto, estava relacionado com as forças originadas pelo carregamento e as reações oferecidas pelos apoios a estas forças.

A Figura 8 mostra, de forma esquemática, a atuação das forças de carregamento (setas vermelhas) e das reações dos apoios (setas azuis).

Como o número de apoios não foi o suficiente para anular as forças originadas pelo carregamento, houve uma flexão das bandejas acompanhada pela quebra dos postes de sustentação, devido à sollicitação (força cisalhante a 45°) que estes passaram a sofrer.

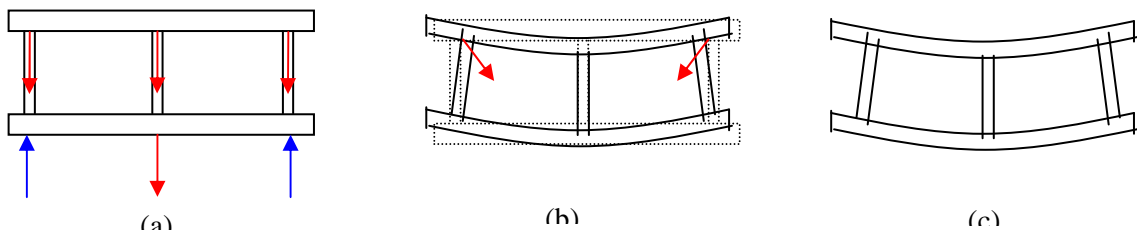


Figura 8: (a) forças atuantes no dispositivo, onde as setas vermelhas indicam as forças de carregamento e as azuis indicam as reações dos apoios; (b) sollicitação a 45°, responsável pelo cisalhamento (quebra) dos postes de sustentação; (c) aspecto final do dispositivo após 01 mês de uso contínuo, sob os carregamentos descritos em (a) e (b)

Como é possível notar na Figura 8 (a), os apoios externos (setas azuis) anulam as forças de carregamento (setas vermelhas) nessa região. Porém, no centro da bandeja não existe uma força de reação do apoio para anular a força de carregamento existente. A falta desse apoio central, juntamente com o carregamento e a elevada temperatura de trabalho (900°C na têmpera), promoveu a deformação do dispositivo.

A ação tomada foi a introdução de uma terceira guia da grelha (ver figura 2) atuando como apoio central, do mesmo tipo usado nas extremidades, para que a força de carregamento existente nessa região fosse anulada por ela. A Figura 9 mostra, também de forma esquemática, o efeito da ação corretiva tomada.

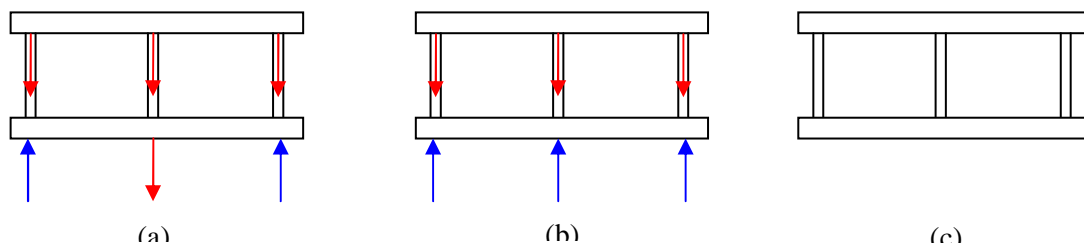


Figura 9: (a) situação atual; (b) reação do novo apoio central a força de carregamento nessa região; (c) resultado final esperado após uso contínuo do dispositivo.

7.1 Segunda Verificação dos Resultados

No mês de Outubro, a produção total foi de 36.620 (34.000 para exportação e 2.620 para o mercado interno) concluída no dia 23, ou seja, tivemos uma produção diária de 1.584 peças.

Comparando esse resultado com o total de 22.176, tivemos um aumento de 65,2% na capacidade de produção.

Não se observou deformação nos dispositivos.

8 RESUMO DOS RESULTADOS

Tabela 4 – Resumo dos resultados obtidos após a segunda verificação.

	Peças para exportação.	Peças para o mercado interno	Total produzido	% de aumento da capacidade de produção:	Meta a ser atingida para autonomia da área:
Julho	26.243	2.373	28.616	29,0%	62,3%
Agosto	27.200	3.190	30.390	37,0%	
Outubro	34.000	2.620	36.620	65,2%	

9 Conclusões

Com base nos resultados obtidos e no que se propõe esse projeto, podemos concluir que:

1. Segundo o teste estatístico, não há diferença entre as bandejas inferiores e as superiores.
2. Embora as temperaturas de entrada na região de encharque não sejam iguais para as bandejas superiores e inferiores, ao final dessa região, as temperaturas médias de saída são iguais, como prova o teste estatístico. A eficiência do tratamento térmico está assegurada.
3. O número máximo de peças por dispositivo, para que 100% delas alcancem a propriedade mecânica final desejada, é de 22 peças, conforme mostrou o ensaio de dureza Brinell.

4. As ações corretivas tomadas no projeto do novo dispositivo foram, além de eficazes, essenciais para o cumprimento da meta de 62,3% de aumento na capacidade de produção.
5. Considerando que a produção total, após o término do mês de outubro, foi de 41.680 peças, o aumento registrado na capacidade produtiva foi de 83,3% nesse mês.
6. O dispositivo pode ser considerado aprovado para uso contínuo.
7. A área de tratamento térmico de cunhas de fricção passou a ter autonomia para a demanda dos dois mercados (nacional e internacional).
8. A utilização da metodologia PDCA foi imprescindível para o sucesso desse projeto, pois sem as etapas de verificação e ação não seria possível o ajuste do dispositivo e, com isso, a meta de 62,3% de aumento na capacidade de produção não seria atingida..

10 Referências:

- HONEYCOMBE, R. W. K – Aços, Microestrutura e Propriedades, Dez. 1985.
- CHIAVERINI, Vicente – Tratamentos Térmicos das Ligas Metálicas, Ed. ABM, 2003.
- WILLIAMS, Anderson Sweeney – Estatística Aplicada à Administração e Economia, Ed. Pioneira, 2003.
- VOTORANTIN, Metals – Apostila de Ensaios Mecânicos, Ed. Própria 2003.
- COSTA NETO, Pedro Luiz – Estatística, Edgard Blucher, 1977