

# **RECUPERAÇÃO DO EIXO DE MANDRIL POR EMENDA INTERFERENTE E SOLDAGEM**

SILVA, J.P.<sup>1</sup>; BARCELLOS, S.D.<sup>1</sup>; SILVA, T.O.A<sup>1</sup>.

1- UniFOA - Campus Olezio Galotti - Três Poços, Volta Redonda - RJ. Cep: 27240-560.

## **RESUMO**

Este trabalho foi elaborado com base em uma metodologia para a aplicação do processo de recuperação de eixos mandris, quando submetidos à fadiga ou falha de equipamento levando-o a quebra. A linha de laminação a frio está diretamente ligada ao lucro de uma empresa, sendo necessário o pleno funcionamento dos componentes. Para recuperação dos eixos mandris dessa linha, foi estudado nesse trabalho o método de emenda soldada, sendo aplicado para reparo em casos de quebra de eixos emergenciais, uma vez que na falta de sobressalente, a linha de produção é afetada diretamente, sendo necessário um recurso imediato, que seja viável economicamente. A metodologia foi aplicada inicialmente em 01 caso, sendo esse caso 01, o reparo executado em um eixo mandril da desbobinadora da linha de galvanização e funcionando com o método de emenda soldada até o presente momento. Para analisar o comportamento do material emendado com o material maciço, foram elaborados dois corpos de provas e realizado testes nos mesmos, comparando assim o comportamento de cada um, quando submetidos a tensões de cisalhamentos. O teste experimental número 1 é o ensaio dos corpos de provas, tanto o maciço, quanto o emendado, utilizando-se de um software para analisar o comportamento do material quando submetido a diferentes esforços. O teste experimental número 2 é baseado em dois corpos de provas experimentais, sendo um o maciço e outro o emendado, os quais são cisalhados com torquímetro, fornecendo dados para compará-lo com os valores do software do teste experimental número 1, analisando o comportamento dos materiais e a tensão máxima suportada por eles. O objetivo desse trabalho é conseguir soluções eficazes para recuperação do eixo, sendo possível restabelecer o eixo mandril e assim permitir o retorno das linhas de produção no menor prazo possível e com confiabilidade. Aplicando a metodologia do fluxograma das etapas de execução serão abordados casos de sucesso de aplicação da técnica do método de emenda soldada que reduziram as perdas por lucro cessante e garantiram excelente desempenho operacional.

**Palavras-chave:** Eixo Mandril; Emenda Soldada; Diagrama de Soderberg.

## **1. INTRODUÇÃO**

Devido à grande demanda de produção, é preciso evitar ocorrências de fraturas por fadigas ou por problemas ocasionados por componentes do conjunto, nos eixos mandris em operação. Esse trabalho descreve a possibilidade de prolongar a vida útil do eixo mandril, aplicando a técnica da emenda soldada. As paradas de emergência das linhas de produção necessitam de soluções rápidas e eficazes, por isso utilizamos a metodologia do roteiro de trabalho para controle e melhoria da execução da técnica aplicada.

## **2. OBJETIVO**

### **OBJETIVO GERAL**

Diante da possibilidade de reaproveitar componente os quais seriam descartados, poderá obter ganhos financeiros, tendo em vista que a peça uma vez restaurada volta a ser utilizada. Nessa perspectiva, o presente estudo tem como objetivo geral apresentar uma solução inovadora quanto à restauração de eixo do mandril por meio de processo interferente e soldagem.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para alcançar o objetivo deste trabalho, é necessário realizar os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os pontos críticos onde mais ocorre a degradação do eixo mandril;
- Propor aos responsáveis que realizem manutenção detectiva para manter o equipamento em pleno funcionamento evitando perda de produção;
- utilizar modelo matemático para demonstrar os esforços suportados após recuperação do eixo de mandril mediante emenda por processo interferente e soldagem;
- Utilizará ferramenta de gestão empresarial do fabricante para comparar o percentual de ganhos por parte da empresa, identificando a viabilidade econômica do processo.

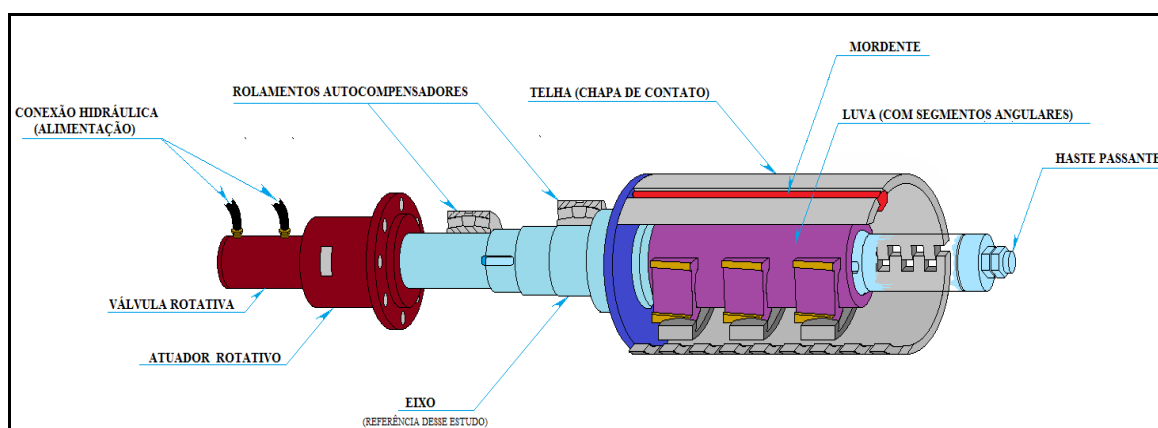
### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em torno de 1893, na Alemanha surgiram os primeiros mandris de bobinas, projetados por *August Schmitz Company*. Os mandris eram equipamentos criados com atuação de expansão e contração, sendo esse movimento por meio de correias conectadas aos motores da cadeira do laminador. O mandril primordial de alta tração foi exposto no ano de 1905 por W. F. Conklin de Pittsburgh (ROBERTS, 1978).

Os mandris são compostos por processos de expansão e contração ajustando seu diâmetro ao diâmetro nominal necessário das bobinas. Na contração do mandril acontece a entrada e saída das bobinas, em contrapartida na expansão acontece a fixação das bobinas no mandril.

O procedimento de expandir e contrair do mandril ocorre por acionamento hidráulico, no qual uma haste alongada permite a movimentação da luva com planos inclinados, conforme Figura 01. Esses planos inclinados estão unidos aos segmentos, que estão próximos ao diâmetro interno das bobinas. As réguas localizadas entre as telhas do mandril são responsáveis por prender a ponta da chapa a ser enrolada.

*Figura 01: Eixo do Mandril*



*Fonte: O autor (2018)*

O eixo do mandril está sujeito a diferentes esforços, sendo eles torção e flexão. Esses esforços de torção são decorrentes do torque derivados do motor de acionamento. Em contrapartida, os esforços de flexão são causados pelo carregamento das bobinas e também pelo seu próprio peso. As características do eixo do mandril o descrevem como equipamento de grande porte com diâmetros superiores a 300mm e comprimentos de 3.000 mm, cujos

materiais de fabricação são aços ligas, forjados e adequados para que o limite de ruptura seja em torno de 900MPa.

Os eixos dos mandris são constituídos de diâmetros variáveis, os quais são responsáveis por acomodar elementos fixos, sendo eles: os rolamentos e engrenagens. Com variáveis diâmetros e montagens de engrenagens, temos as mudanças de secções e os locais de montagem de chavetas nos eixos dos mandris, sendo nesses locais setores de maiores concentrações de tensões. Outras condições que podem agravar essas concentrações podem ser apontadas: a rugosidade superficial da região, a montagem por interferência e raios não polidos.

É desafiadora a manutenção dos eixos dos mandris, devido aos setores de concentrações de tensões possuírem seções posicionadas no interior da caixa redutora e a ocorrência da falta de lubrificação adequada, pode ocasionar quebra prematura do eixo do mandril.

## **FADIGA EM METAIS**

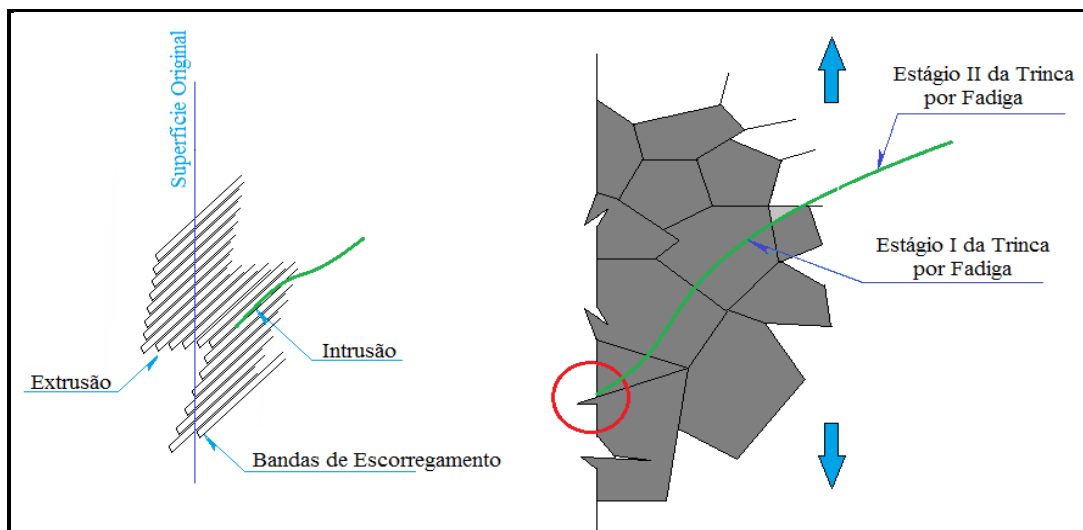
Os elementos de máquinas, veículos e estruturas estão constantemente submetidos a cargas repetidas, conhecidas também como cargas cíclicas, e as tensões cíclicas geradas podem levar a prejuízos físicos microscópicos dos materiais envolvidos. Mesmo quando submetidos a tensões que apresentam valores abaixo do limite de ruptura do material, o prejuízo microscópico pode se aglomerar de forma contínua, dando início a uma trinca ou ocasionando a falha do equipamento, sendo esses prejuízos resultantes das cargas cíclicas, denominados fadiga (OWLING, 1999).

O dano causado por fadiga é decorrente de carregamentos cíclicos, o qual resulta no início de uma trinca, a qual se propaga ao longo do equipamento até a sua fratura. A deformação plástica está presente no equipamento quando submetidos aos carregamentos cíclicos, gerando uma trinca. Conforme o equipamento é submetido a variadas cargas, a propagação da trinca aumenta, e conseqüentemente essa trinca levará o equipamento a quebra ou falha.

As falhas causadas por fadiga ocorrem em quatro etapas sendo elas: primeiro ocorre a nucleação da trinca, segundo ocorre o aumento da microtrinca, terceiro o aumento da macro

trinca e quarto a fratura final do material, conforme Figura 02, em um local de bandas de escorregamentos resistente. A fase seguinte do dano causado por fadiga é o aumento da trinca, sendo essas trincas divididas em duas etapas 1 e 2. Na etapa 1 ocorre a propagação da microtrinca no plano de tensão máxima de cisalhamento, no decorrer do comprimento finito na estrutura de moderados grãos. Nesta etapa 1, as características do escorregamento, as dimensões dos grãos e a direção e posição da tensão são os fatores que influenciam a plasticidade da extremidade da trinca, sendo que essas características devem ser compatíveis com a microestrutura do material analisado. A etapa 2 consiste na propagação da macrotrinca no plano responsável pela tensão principal e no sentido de tensão de cisalhamento local máxima.

*Figura 02: Etapas 1 e 2 da Trinca por Fadiga*

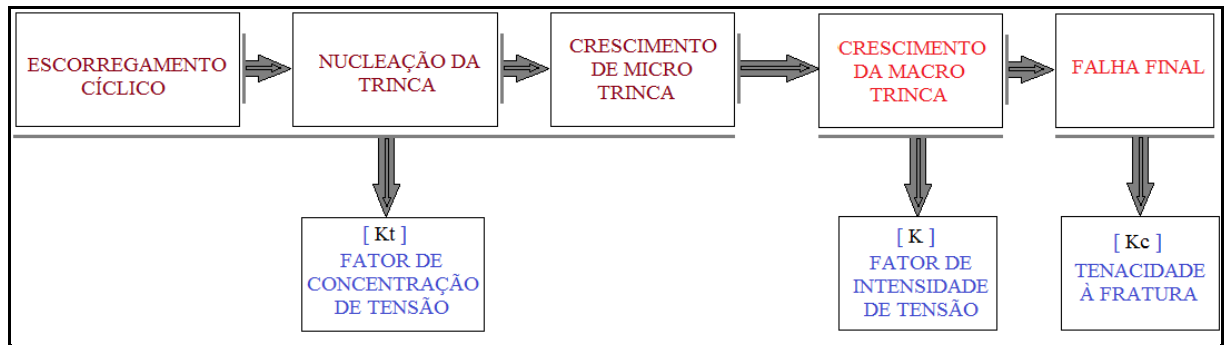


*Fonte: Schijve (2001).*

De acordo com Schijve (2001), o aumento de uma trinca pode ocorrer de maneira lenta e irregular, conforme Figura 03, mesmo após uma microtrinca ter dado início ao processo de nucleação, isso é resultante da microestrutura do material e dos limites de grãos.

Vários fatores influenciam no surgimento da trinca e na propagação dela, mas é preciso analisar as diferenças entre o surgimento da trinca e a propagação dela. Sendo que as condições superficiais, como a rugosidade, afetam o surgimento das trincas, em contrapartida têm pouca influência na fase de propagação dela. Para avaliar a probabilidade de surgimento de uma trinca adota-se o fator de  $K_t$  (concentração de tensão), enquanto que para avaliar a probabilidade de propagação de uma trinca adota-se o fator  $K$  (intensidade de tensão).

*Figura 03: Etapas da Vida em Fadiga*



*Fonte: O autor (2018)*

Para analisar o tempo de vida restante em materiais que sofrem fadiga de baixos ciclos ou dificuldades de vida finita, baseia-se na teoria da fratura mecânica, para analisar a propagação da trinca ao longo do material. Em contrapartida para analisar os danos causados por fadiga de altos ciclos utiliza-se o diagrama (S-N), que fornece às tensões e os números de ciclos, determinando à resistência a fadiga suportada pelo material trabalhado, fazendo com que as tensões cíclicas não atinjam o número de ciclos que ocasionam a fratura do material. A fase de mudança do início da trinca para a ocorrência de sua propagação ao longo do material ainda é alvo de pesquisas e estudos da engenharia, não podendo chegar a uma conclusão precisa até o presente momento. Em relação aos aços, a estruturação da origem da trinca obedece à faixa de 0,1 a 1,0 mm.

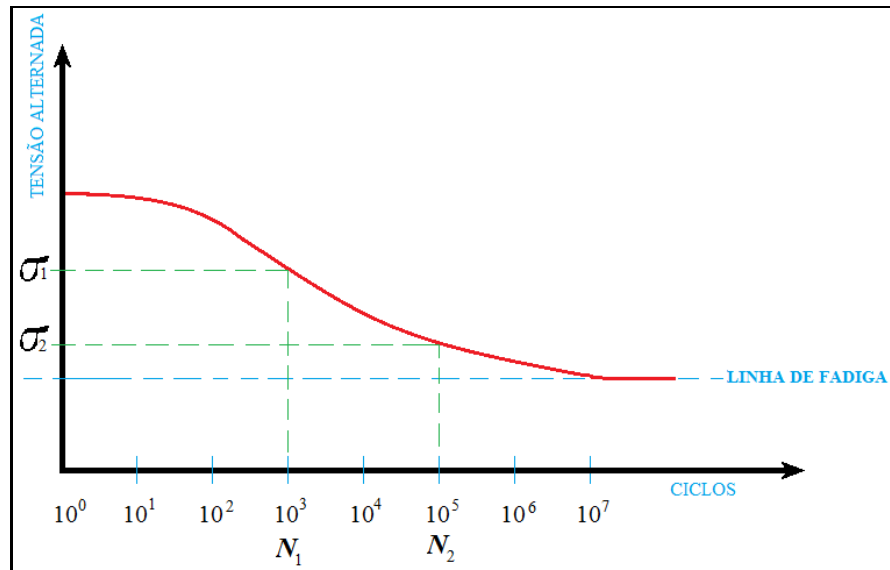
## **CONCENTRAÇÕES DE DANOS POR FADIGA**

A expressão “concentrações de danos” diz respeito aos carregamentos de ciclos de amplitude variável relacionados à fadiga do material. Desta forma, o uso de paradigmas de concentração de falhas por fadiga, é o de observar o comportamento do material quando submetidos a cargas variáveis, tendo o conhecimento do comportamento do material quando é também submetido a amplitudes constantes, baseado no diagrama (S-N).

Em meados do ano de 1945, *Miner* realizou ensaios para analisar a regra linear, que determinava o dano que ocorreu no material quando submetido a uma amplitude de tensão cíclica, sendo esse resultado diretamente proporcional a quantidade de ciclos que atuam, conforme Figura 04, onde atuou a amplitude de tensão, gerando resultados que se tornaram

ponto de partida para outros modelos serem criados, mediante a limitações que apresentam a regra linear.

Figura 04: Modelo Linear de Miner



Fonte: Schijve (2001).

Mesmo com o desenvolvimento de vários modelos para completar a regra linear, o mais aceito até o presente é modelo linear de *Miner*, pois ele demonstrou por meio de resultados experimentais o seu conceito. *Miner* focou seus ensaios no surgimento da trinca atribuindo implicitamente que o dano da vida por fadiga até a falha poderia ser estudado igual a este período. *Miner* defendeu a tese de que o dano causado por fadiga é resultado do trabalho absorvido pelo material, mostrando ser proporcional ao número de ciclos, por isso recebe o nome de regra linear de concentrações de danos.

Conforme descrito, é possível observar que a etapa da formação da microtrinca é uma análise complexa que apresenta resultados confiáveis quando ensaiados em laboratórios. Quando voltado para indústria, a maneira mais comum de se detectar os danos por fadiga em equipamentos é realizada através de ensaio não destrutivos, sendo estes o ensaio por líquido penetrante para micro trincas ou trincas superficiais e o ensaio com o ultrassom em caso de descontinuidades profundas dos materiais.

#### 4. METODOLOGIA

Buscando gerir as etapas do processo de execução das atividades em questão, utilizou-se do fluxograma (Figura 05), o qual aponta de forma delineada os pontos importantes desse processo, desde o projeto elaborado até à inspeção do produto final desse processo.

*Figura 05: Fluxograma do roteiro de trabalho adotado para o projeto*



*Fonte: O autor (2018)*

Alguns critérios são essenciais para que se desenvolva a análise do problema para executar o reparo, conforme demonstrado na Figura 06:

*Figura 06: Etapas para Análise do Problema*



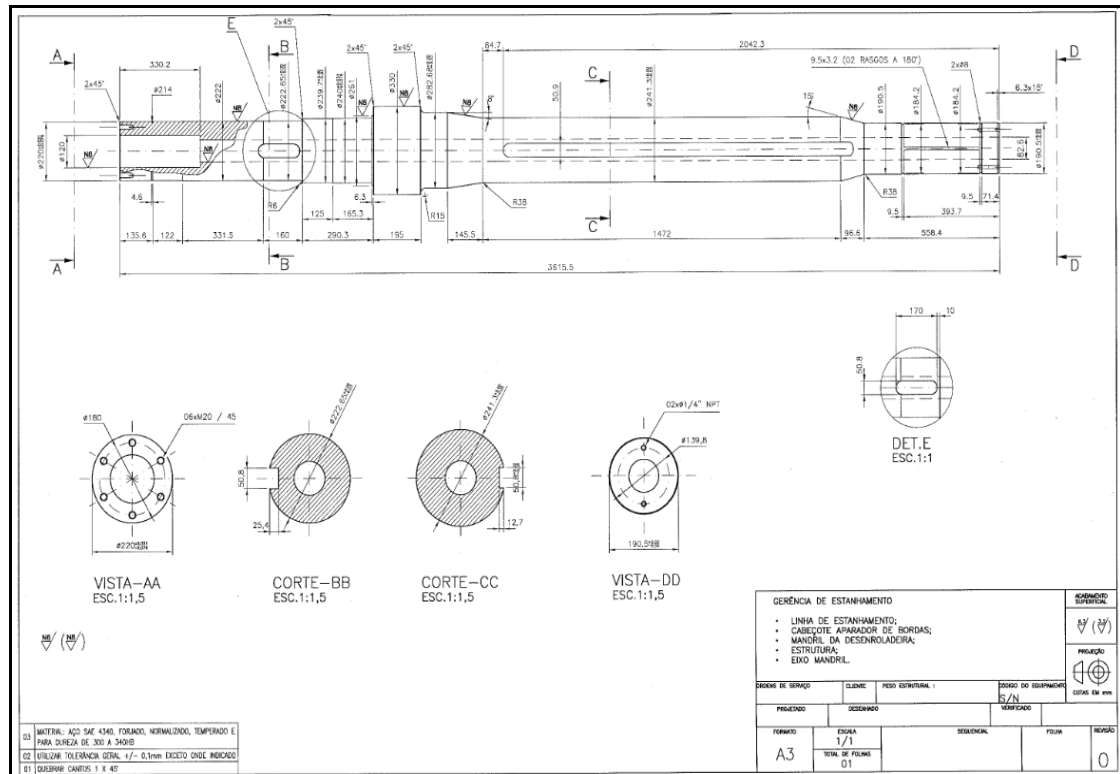
*Fonte: O autor (2018)*

Sendo assim, pode-se afirmar que é possível realizar reparo em eixos de mandris, visando buscar agilidade, baixo custo, priorizando a qualidade e repará-los, reduzindo o tempo de parada em emergência, atuando de forma rápida, eficaz e com máxima confiabilidade.

Deste modo, chegou-se a um consenso da viabilidade do reparo. O procedimento utilizado foi emendar uma ponta postíça pinada de forma interferente e soldada.

**1ª fase:** os desenhos foram elaborados, exemplificados na Figura 10, utilizando-se ferramentas gráficas, como AutoCAD e Inventor pelos profissionais responsáveis técnicos:

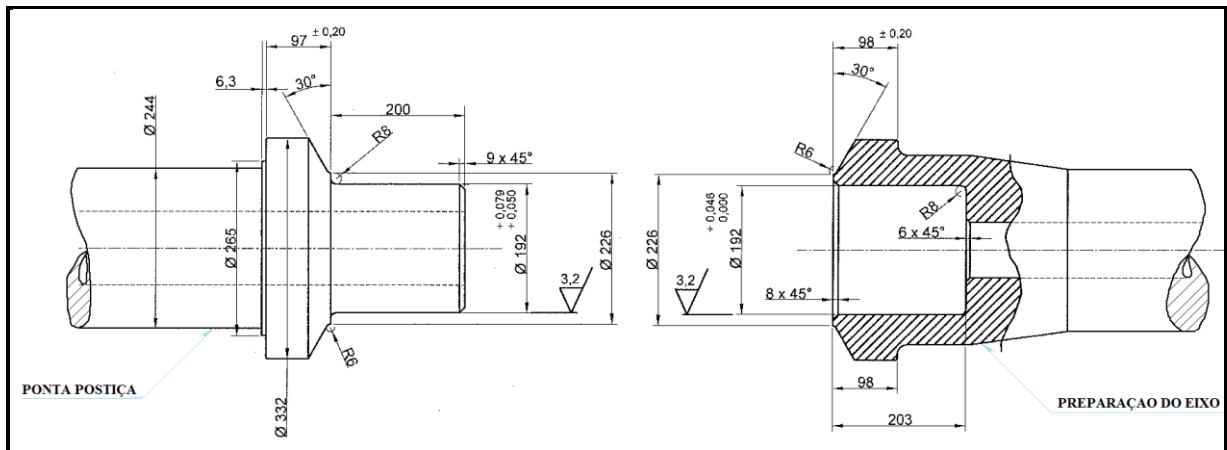
*Figura 07: Desenho de Projeto do Eixo de Mandril*



*Fonte: O autor (2018)*

**2ª fase:** posteriormente foi providenciada a matéria prima com propriedades e especificações requeridas para a aplicação, verificando sobras em oficina ou estoque. Foi elaborado procedimentos de soldagem seguindo as normas técnicas de acordo com o material utilizado. As atividades executadas, foram planejadas e detalhadas em sequência lógica, definindo tempo e centro de trabalho utilizando um sistema de controle de gestão de manutenção. Em seguida executou-se a usinagem das pontas do eixo e ponta postiça, torneando as peças que foram unidas, seguindo os padrões de usinagem, tolerâncias e interferências (H6/p6) “prensado a quente”, ou esfriamento da ponta postiça com auxílio de nitrogênio líquido, definidas no projeto, como exemplificado na Figura 08.

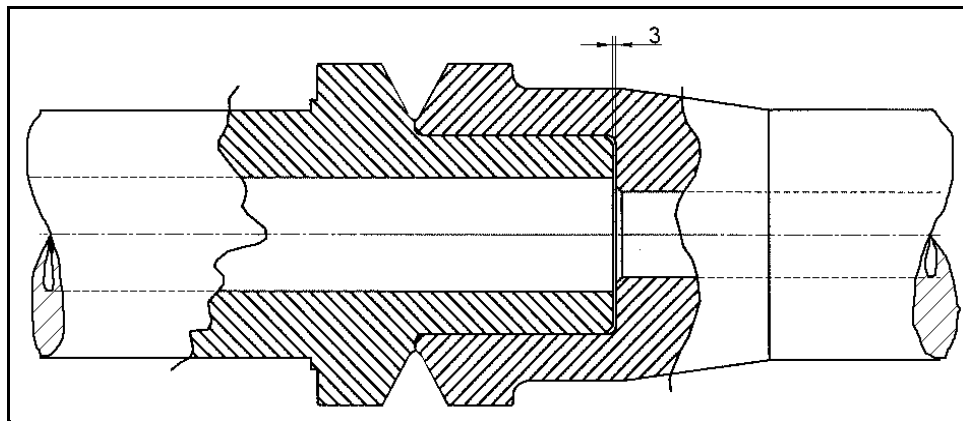
Figura 08: Projeto para eixo/ponta postiça



Fonte: O autor (2018)

**3ª fase:** foi montada a ponta postiça em eixo já preparado (Figura 09), usando técnica de “montagem a quente” do eixo ou “a frio” da ponta postiça;

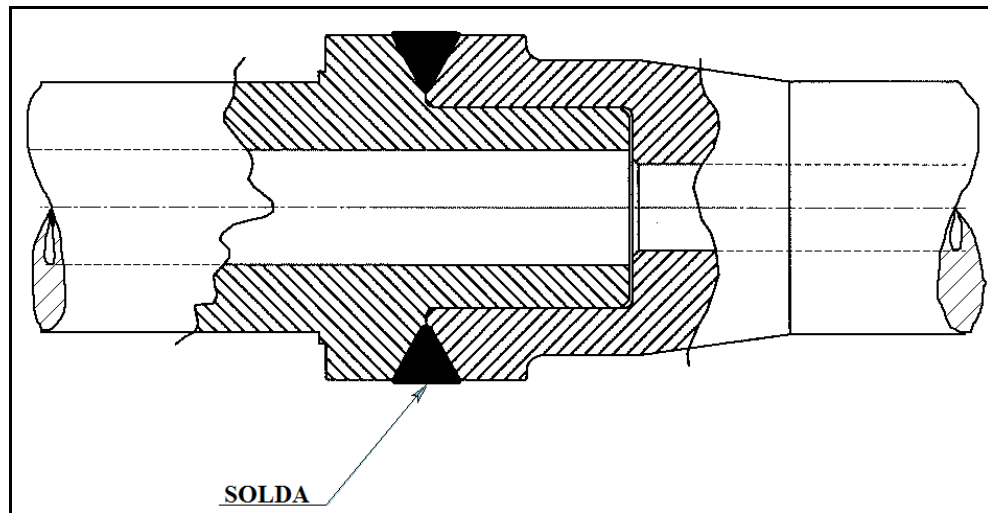
Figura 09: Montagem dos elementos



Fonte: O autor (2018)

**4ª fase:** as partes foram soldadas (Figura 10), seguindo recomendações do procedimento de soldagem pelo método de Arco Submerso (Consumível: Arame EM12K de 1,6mm e Fluxo ESAB 1061 B), o material de adição (solda) com características semelhantes às dos materiais que foram unidos, uma vez que a finalidade foi obter uma solda mais compatível entre si, para que a união resultante, não representasse um ponto crítico do conjunto montado;

*Figura 10: União dos componentes por soldagem*



*Fonte: O autor (2018)*

**5ª fase:** Foi feito tratamento térmico de alívio de tensões, devido à dilatação da microestrutura devido aos gradientes de temperatura;

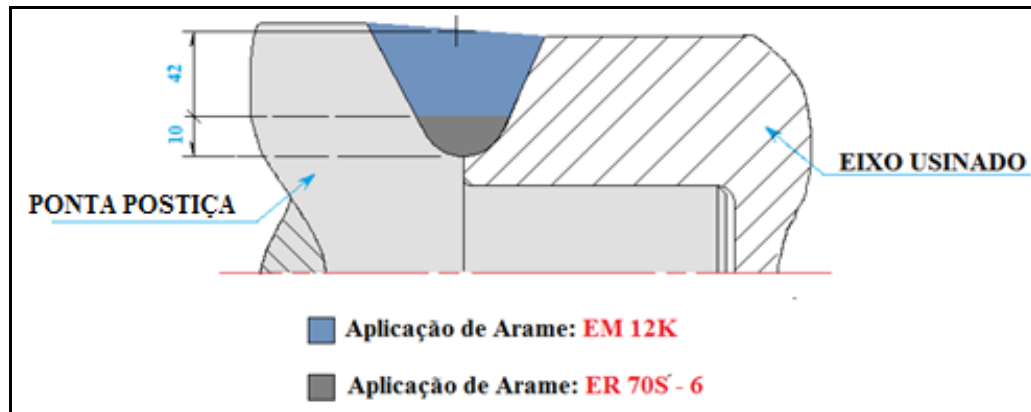
**6ª fase:** quanto à usinagem: foi torneado e furado de acordo com projeto original, efetuando acabamento preciso, retirando as rebarbas. Por fim foi realizada a inspeção quando se verificou o dimensionamento utilizando instrumentos de medição, constatando-se que esteve em conformidade com o projeto.

## **5. DESENVOLVIMENTO**

### **PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM UTILIZADO**

- 1) Após montagem, efetuar ponteamto para travamento das partes a serem unidas;
- 2) Aquecer uniforme e lentamente, o local da emenda, usando chuveirinho, até a temperatura se equalizar entre 180/200 °C;
- 3) Monitorar essas temperaturas, com pirômetro ótico;
- 4) Proteger com manta térmica as regiões adjacentes à emenda, para minimizar a dissipação térmica, e auxiliar na manutenção da temperatura de preaquecimento;
- 5) Efetuar soldagem de união (raiz, conforme Figura 11), usando arame ER70S-6 de 1,2 mm;

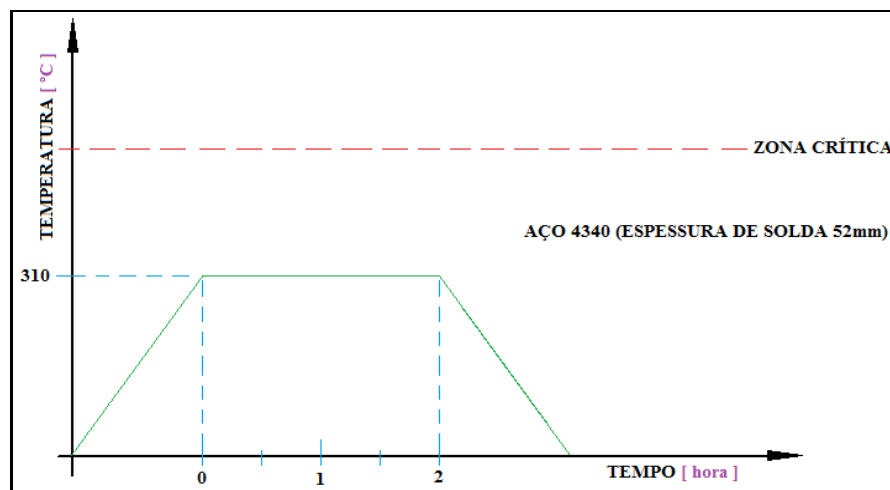
Figura 11: Modo de aplicação das soldas na emenda do eixo de mandril.



Fonte: O autor (2018)

- 6) Efetuar soldagem de enchimento, usando arame EM12K, e fluxo neutro ESAB 1061-B, controlando a temperatura interpasse, para não exceder a temperatura de 250 a 270 °C;
- 7) Compor todo chanfro, depositando material suficiente (sobre metal / reforço de solda), de 2 mm, para posterior usinagem;
- 8) Após a conclusão da solda, efetuar pós aquecimento, mantendo a região soldada, com temperaturas entre 300 e 320°C, por 2 horas, conforme Figura 12 de tratamento térmico de alívio de tensão;
- 9) Envolver a região da emenda do eixo, com manta térmica e deixá-la resfriar lentamente, até a temperatura ambiente;

Figura 12: Diagrama de representação de tratamento térmico de alívio de tensões do ponto soldado do eixo de mandril, após operação de soldagem.



Fonte: O autor (2018)

## DADOS DO CASO 01

O experimento do CASO 01 é referente ao eixo da desbobinadora da linha de galvanização conforme Figura 13, podendo ser definida como o processo responsável por revestir um metal por outro, com o objetivo de protegê-lo contra a corrosão ou melhorar sua aparência. Basicamente, essa linha trabalha com a zincagem por imersão a quente, podendo ser citado como um processo econômico e que proporciona um bom efeito quanto a proteção do aço. Essa proteção por meio do zinco é dividida em duas formas: a que tem como responsável a camada de revestimento, sendo ela chamada de proteção de barreira e temos a proteção sacrificial ou galvânica, usada quando o revestimento apresenta descontinuidades. Essa linha está diretamente ligada à demanda de produção do setor, sendo que a sua parada ocasiona perdas extremas.

*Figura 13. Caixa redutora da desbobinadora montada, ainda com o eixo quebrado*



*Fonte: O autor (2018)*

A Figura 14 apresenta detalhe da fratura do eixo de mandril quebrado, no local de montagem do rolamento. Essa fratura, extraordinária, ocorreu após 15 anos e 3 meses em que esse eixo foi aplicado na linha.

*Figura 14. Detalhe da Fratura do Eixo de Mandril*



*Fonte: O autor (2018)*

A solicitação de reparo do eixo de mandril levou em considerações as características físicas e geométricas do eixo. A solicitação de reparo ocorreu no dia 01 de agosto de 2015, devido à desbobinadora nº1 ter uma parada de emergência em função da quebra do eixo do mandril, ocorrendo interrupção da linha em aproximadamente 12h, a partir deste horário a linha voltou a rodar, porém com redução da produção diária.

Por se tratar de um eixo de geometria complexa, e a inexistência de recursos da oficina para a fabricação, foi adotado o método de emenda interferente e soldada. O reparo do eixo e a montagem do conjunto foram realizados em 8 dias. Após conjunto montado o mesmo foi enviado para sua área de aplicação onde até o presente momento está rodando sem nenhuma restrição, assim permitindo que a linha de galvanização retornasse a sua produção normal.

O problema ocorreu devido ao aquecimento e falha por fadiga do rolamento auto compensador de rolos, duas carreiras de rolo montado no eixo, com isso o rolamento aqueceu até que transferiu calor ao eixo, provocando a fragilidade da região, consequentemente propagou-se uma trinca, levando à quebra do eixo na seção. Assim, no eixo de mandril quando quebrado inicia-se o processo de recuperação por emenda interferente e soldada, a qual passa por várias etapas, descrita a seguir:

- a) **Constatação do modo de falha do eixo:** realiza-se um estudo, tendo como meta registrar o fato, que é o modo de falha do eixo. Em alguns casos realiza-se um teste prévio, não destrutivo, com líquido penetrante ou ultrassom. Quando um eixo se

b) **Elaboração dos desenhos auxiliares de reparo:** após constatação do modo de falha do eixo, elabora-se desenhos para auxiliar na operação de usinagem e reparo do eixo conforme Figura 15;

**Mc A (RECUPERAÇÃO DO EIXO DO MANEIRIL CSN D3572545)**

**Mc B (PONTA C/ SOBREMETAL DO FIXO DO MANEIRIL CSN D3572545)**

**Mc C (PRÉ MONTAGEM DO EIXO DO MANEIRIL CSN D3572545)**

| MC | QUNT. | RECURSOS                                                        | NOTA 1 |
|----|-------|-----------------------------------------------------------------|--------|
| A  | 01    | RECUPERAÇÃO DO EIXO DO EIXO DO MANEIRIL                         | NOTA 1 |
| B  | 01    | PONTA C/ SOBREMETAL PARA RECOMPOZ O EIXO DO MANEIRIL            | NOTA 1 |
| C  | 01    | PRÉ MONTAGEM DO EIXO DO MANEIRIL P/ USAR COM O EIXO DO MANEIRIL | NOTA 1 |

**NOTA 1: AÇO FORJADO, NORMALIZADO E TEMPERADO, COM DUREZA ENTRE: 300 ± 340HB.**

c) **Usinagem:** nessa etapa é fabricada uma “ponta postiça”, com sobremetal no diâmetro externo a ser usinado posteriormente, tendo como referência o corpo do eixo. Essa ponta é dotada de um pino interferente e angulação proposital. Na extremidade do eixo quebrado, ou trincado faz-se uma usinagem que se trata de uma furação interna com angulação preestabelecida que em conjunto com a angulação deixada na “ponta postiça”, estabelece-se um sulco ou “gorne” para receber a aplicação das soldas, unindo as partes de acordo com a Figura 16;

*Figura 16: Usinagem da Ponta Postiça e do Eixo de Mandril*



*Fonte: O autor (2018)*

- d) **Montagem das partes a serem soldadas:** a montagem entre as partes é feita e levada à soldagem. Em seguida, realiza-se o aquecimento para dilatação da furação, que adota uma relação com o pino da ponta postiça de “prensado à quente”, assim, o eixo já com a ponta postiça montada é levado ao processo de soldagem por arco submerso: (Figura 17);

*Figura 17: Montagem das partes a serem soldadas*



*Fonte: O autor (2018)*

- e) **Processo de soldagem:** O eixo é levado à máquina de soldagem automática, por arco submerso. Após a soldagem, faz-se verificação de conformidade das soldas aplicadas, utilizando o líquido penetrante. Caso haja alguma imperfeição nas soldas, faz-se uma soldagem pontual no local: (Figura 18);

*Figura 18: Processo de Soldagem*



*Fonte: O autor (2018)*

- f) **Usinagem final do eixo:** baseando-se na concentricidade da ponta intacta, na usinagem faz-se referência no diâmetro externo do corpo eixo e com auxílio de relógio comparador então se faz a usinagem da ponta emendada, buscando a concentricidade do todo, conforme Figura 19.

*Figura 19: Usinagem do eixo após soldagem*



*Fonte: O autor (2018)*

- g) **Montagem do conjunto:** após a usinagem e verificação da emenda soldada, através de testes, o eixo é levado à montagem no conjunto de mandril e o conjunto é aplicado na área de atuação, demonstrado na Figura 20.

*Figura 20: Montagem do conjunto*



*Fonte: O autor (2018)*

## ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica avalia o custo e retorno produzido pelo projeto. Com isso, a tabela apresenta todos os custos relativos a usinagem do eixo (tabela 1), que tem como objetivo a preparação para a inserção de uma ponta postiça. Os custos de fabricação da ponta postiça estão descritos na tabela 2, importante ressaltar que os valores foram obtidos através de consulta com fornecedores.

*Tabela 1: Valores Referentes a Usinagem do Eixo*

| Atividades                                         | Qnt mão de obra | Hora de execução    | Taxa (HH)      | Custo Parcial (HH)  |
|----------------------------------------------------|-----------------|---------------------|----------------|---------------------|
| planejamento das atividades (elaboração de croqui) | 1,0             | 4                   | 51,23          | R\$ 204,92          |
| coordenação das atividades                         | 1,0             | 3                   | 57,26          | R\$ 171,78          |
| abastecimento de materiais                         | 1,0             | 2                   | 57,26          | R\$ 114,52          |
| transporte                                         | 2,0             | 2                   | 57,26          | R\$ 229,04          |
| serra                                              | 1,0             | 5                   | 89,96          | R\$ 449,80          |
| torno de grande porte                              | 1,0             | 6                   | 104,52         | R\$ 627,12          |
| ensaios não destrutivos                            | 1,0             | 3                   | 51,23          | R\$ 153,69          |
| torno CNC                                          | 1,0             | 8                   | 104,52         | R\$ 836,16          |
| inspeção final                                     | 1,0             | 2                   | 51,23          | R\$ 102,46          |
| transporte                                         | 2,0             | 1                   | 57,26          | R\$ 114,52          |
| <b>Valor</b>                                       |                 |                     |                | <b>R\$ 2.889,49</b> |
|                                                    |                 |                     |                |                     |
| Materiais Utilizados                               | Quantidade      | Status de Aquisição | Custo Unitário | Custo Parcial       |
| Eixo conforme projeto                              | 1               | REPARAR             | 0              | R\$ 0,00            |
| Insertos SNMG-DM                                   | 2               | COMPRA              | 32,47          | R\$ 64,94           |
| Kit material de Líquido Penetrante                 | 1               | COMPRA              | 62,36          | R\$ 62,36           |
| <b>Valor Total</b>                                 |                 |                     |                | <b>R\$ 3.016,79</b> |

*Fonte: O autor (2018)*

*Tabela 2: Valores Referentes à Usinagem da Ponta Postiça*

| Atividades                                         | Qnt de mão de obra | Hora de execução    | Taxa (HH)      | Custo Parcial (HH)  |
|----------------------------------------------------|--------------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Planejamento das atividades (elaboração de croqui) | 1,0                | 5                   | R\$ 51,23      | R\$ 256,15          |
| Coordenação das atividades                         | 1,0                | 3                   | R\$ 57,26      | R\$ 171,78          |
| Abastecimento de materiais                         | 1,0                | 2                   | R\$ 57,26      | R\$ 114,52          |
| Transporte                                         | 1,0                | 2                   | R\$ 57,26      | R\$ 114,52          |
| Serra                                              | 1,0                | 5                   | R\$ 89,96      | R\$ 449,80          |
| Tomo de grande porte                               | 1,0                | 24                  | R\$ 104,52     | R\$ 2.508,48        |
| Ensaio não destrutivo (ultrassom)                  | 1,0                | 2                   | R\$ 51,23      | R\$ 102,46          |
| Tomo CNC                                           | 1,0                | 24                  | R\$ 104,52     | R\$ 2.508,48        |
| Ensaio não destrutivo (líquido penetrante)         | 1,0                | 3                   | R\$ 51,23      | R\$ 153,69          |
| Inspecção final (dimensional)                      | 1,0                | 3                   | R\$ 51,23      | R\$ 153,69          |
| Transporte                                         | 1,0                | 1                   | R\$ 57,26      | R\$ 57,26           |
| <b>Valor</b>                                       |                    |                     |                | R\$ 6.590,83        |
|                                                    |                    |                     |                |                     |
| Materiais Utilizados                               | Quantidade         | Status de Aquisição | Custo Unitário | Custo Parcial       |
| Valor ponta postiça                                | 1                  | FABRICAÇÃO          | R\$ 6.590,83   | R\$ 6.590,83        |
| Matéria-prima                                      | 1                  | REUTILIZAÇÃO        | R\$ 0,00       | R\$ 0,00            |
| <b>Valor Total</b>                                 |                    |                     |                | <b>R\$ 6.590,83</b> |

*Fonte: O autor (2018)*

A tabela 3 apresenta os custos totais para a preparação do eixo. Os valores foram obtidos através de consulta com fornecedores. O valor total de reparação ficou em R\$29.056,74(vinte e nove mil, cinquenta e seis reais e setenta e quatro centavos), no qual estão inclusos a usinagem do eixo, a fabricação da ponta postiça e os materiais envolvidos no processo. Importante ressaltar que não estão inclusos os custos de instalação, pois esses são de responsabilidade do cliente.

A quebra do eixo do mandril da desbobinadora da linha de galvanização da Empresa “X” acarretou em uma redução de produção na linha, pois a linha continuou operando com apenas a desbobinadora nº 2. Como não existia uma unidade sobressalente disponível do eixo e com o tempo de espera para aquisição de um novo eixo foi aproximadamente 45 dias, a perda de produção estimada foi de 7.518 toneladas e o custo da parada da linha foi de R\$3.378.155,13 (três milhões, trezentos e setenta e oito mil, cento e cinquenta e cinco reais e treze centavos), devido a isto,foi necessário executar um reparo de emergência, o qual ocorreu por meio do procedimento de emenda interferente e soldada,que resultou na economia de custo e tempo, pois o reparo foi executado em 08 dias e a perda de produção foi de aproximadamente 1.203 toneladas e o custo da parada da linha foi de R\$ 653.532,62 (seiscentos e cinquenta e três mil, quinhentos e trinta e dois reais e sessenta e dois centavos).

*Tabela 3: Valores Referentes ao Reparo do Eixo*

| Atividades                              | Qnt Mão de Obra | Hora de execução    | Taxa (HH)      | Custo Parcial (HH)   |
|-----------------------------------------|-----------------|---------------------|----------------|----------------------|
| Planejamento das atividades             | 1               | 5                   | R\$ 51,23      | R\$ 256,15           |
| Coordenação das atividades              | 1               | 3                   | R\$ 57,26      | R\$ 171,78           |
| Abastecimento de materiais              | 1               | 2                   | R\$ 57,26      | R\$ 114,52           |
| Transporte                              | 1               | 2                   | R\$ 57,26      | R\$ 114,52           |
| Usinagem (torno de grande porte)        | 1               | 6                   | R\$ 104,52     | R\$ 627,12           |
| Inspeção intermediária 01               | 1               | 2                   | R\$ 51,23      | R\$ 102,46           |
| Montagem intermediária                  | 2               | 4                   | R\$ 70,54      | R\$ 282,16           |
| Soldagem automática                     | 1               | 16                  | R\$ 89,96      | R\$ 1.439,36         |
| Ensaio não destrutivo                   | 1               | 3                   | R\$ 51,23      | R\$ 153,69           |
| Tratamento térmico                      | 1               | 12                  | R\$ 89,96      | R\$ 1.079,52         |
| Usinagem (torno)                        | 1               | 20                  | R\$ 104,52     | R\$ 2.090,40         |
| Usinagem (mandriladora)                 | 1               | 24                  | R\$ 104,52     | R\$ 2.508,48         |
| Acabamento                              | 1               | 6                   | R\$ 70,50      | R\$ 423,00           |
| Inspeção final                          | 1               | 4                   | R\$ 51,23      | R\$ 204,92           |
| Transporte                              | 1               | 1                   | R\$ 51,26      | R\$ 51,26            |
| <b>VALOR</b>                            |                 |                     |                | <b>R\$ 9.619,34</b>  |
|                                         |                 |                     |                |                      |
| Materiais Utilizados                    | Quantidade      | Status de Aquisição | Custo Unitário | Custo Parcial        |
| Fluxo ESAB OK-1093-C                    | 12,32           | COMPRA              | R\$ 3,88       | R\$ 47,80            |
| Arame AWS EM12K 1,6 mm                  | 10,47           | COMPRA              | R\$ 10,05      | R\$ 105,22           |
| Arame ER70-S                            | 6               | COMPRA              | R\$ 9,57       | R\$ 57,42            |
| Eixo usinado valores conforme planilha  | 1               | REPARO              | R\$ 3.016,79   | R\$ 3.016,79         |
| Ponta postiça valores conforme planilha | 1               | FABRICAÇÃO          | R\$ 6.590,83   | R\$ 6.590,83         |
| Valor da usinagem final do eixo co      | 1               | REPARO              | R\$ 9.619,34   | R\$ 9.619,34         |
| <b>VALOR TOTAL</b>                      |                 |                     |                | <b>R\$ 29.056,74</b> |

*Fonte: O autor (2018)*

Conforme os valores apresentados na tabela 3, o custo de reparação do eixo foi de R\$29.056,74 (vinte e nove mil, cinquenta e seis reais e setenta e quatro centavos). Este custo ficou menor do que se o cliente tivesse optado em comprar um eixo novo, para o qual o custo de aquisição seria de R\$137.560,00 (cento e trinta e sete mil, quinhentos e sessenta reais), valor este, o qual foi obtido através de consulta com fornecedores.

A reparação do eixo mostrou ser mais viável por apresentar um custo menor e um tempo menor de parada da linha de produção. O projeto gerou uma economia de R\$108.503,26 (cento e oito mil, quinhentos e três reais e vinte e seis centavos) para o cliente, conforme apresentado no Figura 21.

Figura 21: Demonstrativo de relação entre custos



Fonte: O autor (2018)

## 6. CONCLUSÃO

A permuta do eixo do mandril por um novo, tecnicamente não deve ser preterida; todavia, se na aplicação do método da emenda por pinagem interferente e soldagem no eixo, forem obedecidos alguns critérios de qualidade no projeto, como: adoção de precisas interferências dimensionais; acabamento adequado nas superfícies dos contatos da pinagem; cálculo para a definição do comprimento da pinagem, sem que esse comprometa alguma seção do eixo, o fragilizando; arame com propriedades compatíveis com o material de base e sendo possível em eixos com seções não uniformes, como é o caso do eixo de mandril, for aplicada nas seções de maiores diâmetros, pode-se alcançar resultados expressivos quanto à eficácia, em comparação a um eixo novo.

O processo de recuperação por esse método apresenta um alto retorno financeiro e agilidade de execução; pois, a economia em evitar a parada de produção, devida ao tempo de

espera na compra de um eixo novo somado ao custo de compra em comparação ao tempo e custos de reparo, torna esse método viável.

Como a desbobinadora é enclausurada e a operação é controlada por sistema computadorizado da empresa, não apresentando risco ao operador e observado que o fator de segurança resultante dos cálculos, apenas na seção reta de solda, sem levar em consideração a parcela de contribuição da pinagem, supre o critério de Soderberg quanto ao modo de falha por tensão no material, levando-se ainda em consideração os cuidados na execução de tratamento térmico de alívio de tensão para o rearranjo das discordâncias microestruturais, devidas às tensões residuais pelo fenômeno da dilatação térmica ocasionado após a soldagem, teoricamente não há risco de acidente na linha por suposta quebra.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AÇO SAE 1045. **Propriedades Mecânicas.** Disponível em: <<http://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1045-propriedades-mecanicas.htm>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

AÇO SAE 4340. **Propriedades Mecânicas.** Disponível em: <<http://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-4340-propriedades-mecanicas.html>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

ARAME MAIS UTILIZADO PARA APLICAÇÕES A ARCO SUBMERSO NAS INDÚSTRIAS. Disponível em: <<http://www.lincolnelectric.com.br/consumiveis/arco-submerso>>. Acesso em: 08 out. 2017.

AWS, **Welding Handbook, Materials and Applications – Part 1.** American Welding Society, 8a Edição, Vol. 3, 1996.

BASE TCC - **Pesquisas sobre eixo mandril.** Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MDAD->

7W6NKQ/microsoft\_word\_\_\_dissertacao\_sergio\_rolla\_guimar\_es\_mar\_2009.pdf?sequence=1 >. Acesso em: 15 nov. 2017.

BEER F. P.; JOHNSTON E. R. JR.; DeWOLF J. T.; MAZUREK D. F. **Mecânica dos Materiais**. : 7. ed. São Paulo: AMGH Editora Ltda., 2015. 828 p.

CARVALHO, J. R.; MORAES, P. **Órgãos de Máquinas – Dimensionamento**. :1. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 1970. 343 p.

CATÁLOGO ESAB – **Arame para solda AWS E70S-6**. Disponível em: <<http://www.esab.com.br/br/pt/support/index.cfm>>. Acesso em: 09 out. 2017.

**CATÁLOGO PARA SOLDAR E70S-6**. Disponível em: <<http://www.belgobekaert.com.br/produtos/documents/folder-solda.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2017.

HIBBELER. R. C. **Resistência dos Materiais**. : 7. ed. São Paulo: Person Education do Brasil Ltda., 2010. 637 p.

OWLING, N. E. **Mechanical Behavior of Materials: Engineering Methods for Deformation, Fracture and Fatigue**. 2.ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999.

ROBERTS, W. L., **Cold Rolling of Steel**. Ed. Marcel Dekker, Inc. 1978.

SCHIJVE, J. **Fatigue of structures and materials**. Ed. Kluwer Academic Publishers, 2001.

SITE DA VILLARES. **Aço SAE1045**. Disponível em: <<http://www.villaresmetals.com.br/pt/villares/Downloads?type=23529>>. Acesso em: 01 nov. 2017.