



**FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
DE CONSELHEIRO LAFAIETE**

ENGENHARIA MECÂNICA

RAÍ PONTES LEITE

**REDUÇÃO DE CUSTO DE MANUTENÇÃO E AUMENTO DE
DISPONIBILIDADE DOS MANCAIS DE LAMINAÇÃO DE PERFIS
ESTRUTURAIS**

**Conselheiro Lafaiete
2020**

RAÍ PONTES LEITE

**REDUÇÃO DE CUSTO DE MANUTENÇÃO E AUMENTO DA
DISPONIBILIDADE DOS MANCAIS NA LAMINAÇÃO DE PERFIS
ESTRUTURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. MSc. José Sebastião dos Reis Silva

**Conselheiro Lafaiete
2020**

RAÍ PONTES LEITE

Redução De Custo De Manutenção E Aumento De Disponibilidade Dos Mancais De Laminação De Perfis Estruturais

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. José Sebastião dos Reis Silva – Orientador– FUPAC

Prof. Dr. MSc. Me. Esp. MBA Nome – Avaliador(a) – FUPAC

Prof. Dr. MSc. Me. Esp. MBA Nome – Avaliador(a) – FUPAC

**Conselheiro Lafaiete
2020**

“Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende, ou seja, não há sucesso no que não se gerencia”.

William Deming

AGRADECIMENTOS

O meu sonho chegou ao fim de uma etapa e ao início de outra bem mais ampla, com novas escolhas, caminhos e experiências. Minha graduação foi bem aproveitada e trouxe muito aprendizado, gratidão, sorrisos e aquele gostinho de que "tudo valeu a pena" na bagagem.

Não foi fácil trabalhar de turno e estudar! Precisei me dedicar muito, abdicar de momentos com a família, de descanso e principalmente de lazer. Todo esse esforço fez com que meu corpo apresentasse sinais de que algo não estava bem, afinal raramente eu conseguia dormir bem, mas durante esses cinco anos eu descobri que sou muito mais forte que pensei, muito mais capaz e todas as vezes que me achei fraco, estava forte.

Hoje me orgulho dessa vitória e se eu nunca pensei em desistir foi porque "até aqui o SENHOR me ajudou" colocando na minha trajetória: minha esposa, fonte de amor e incentivo, meus pais, colegas, amigos e mestres que sempre se fizeram presentes demonstrando todo apoio, carinho e consideração.

Quero daqui para frente fazer valer cada gota do que aprendi, do que me transformou internamente, do que me tornou um profissional capaz. Desejo mudar o mundo tocando o coração de cada um a minha volta, proporcionando ao outro aquilo que posso e aquilo que devo. Minha missão começa agora!

RESUMO

O mundo tem evoluído muito desde a revolução industrial e as laminações são um exemplo desta evolução. As laminações são processos industriais que o homem utiliza para obter material da forma que atenda suas necessidades. Este processo reduz a espessura de uma chapa, barra ou perfil metálico por meio de sua passagem entre dois ou mais cilindros girantes, com separação menor que a espessura de entrada. O aço para perfis, perfis pesados, vigas I e H, são laminados em usinas de laminação de perfis. Os roletes horizontais e roletes verticais dos laminadores universais nas usinas de laminação de perfis pesados permitem a laminação simultânea de todas as superfícies de uma viga de aço. Os laminadores universais geralmente funcionam em operação reversa. Nestes laminadores são utilizados mancais com rolamentos de quatro carreiras de rolos cônicos, estes rolamentos são montados em mancais verticais que suportam todo esforço de laminação. No mercado cada dia mais competitivo, onde os clientes buscam cada vez mais qualidade, menor prazo de entrega e menor preço. Para uma empresa se tornar competitiva precisa atender todos estes requisitos. Para alcançar esse objetivo é necessário disponibilidade de seus equipamentos para realizar a entrega, reduzir o custo e aumentar o lucro. Observou-se que, especificamente, a frota de mancais verticais da laminação de perfis da cidade de Ouro Branco não possuía um plano de manutenção e por consequência operavam em condições abaixo do especificado interferindo diretamente na qualidade do produto final e sem reservas. O presente trabalho tem como finalidade, através do uso de várias técnicas de manutenção, estudar os possíveis causadores do modo de falhas e elaborar soluções para o problema, desta forma aumentando a disponibilidade do ativo da empresa e reduzindo o custo com manutenção.

Palavras-chave: Laminações. Perfis. Manutenção. Disponibilidade. Custo.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FUPAC	Faculdade Presidente Antônio Carlos
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
ABAL	Associação Brasileira do Alumínio
BD1	Laminador Desbastador 1
BD2	Laminador Desbastador 2
UR2	Laminador Universal de perfis processo X
UR2N	Laminador Universal de perfis processo H
E3	Laminador duo reversível de bordas processo X
FEMEA	Análise de Modos de Falhas e Efeitos

SUMÁRIO

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES.....	9
ÍNDICE DE TABELAS	10
ÍNDICE DE QUADROS.....	10
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos.....	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos Específicos	11
1.2 Justificativa.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 Manutenção	13
2.1.1 Introdução à manutenção.....	13
2.1.2 Evolução da manutenção	15
2.1.3 Tipos de manutenção	18
2.1.3.1 Manutenção Corretiva	18
2.1.3.2 Manutenção preventiva	19
2.1.3.3 Manutenção preditiva	19
2.2 Elementos de Fixação.....	20
2.2.1 Roscas	20
2.2.1.1 Passo e hélice de rosca	22
2.2.2 Parafusos	23
2.2.3 Porcas sextavada ou hexagonal	24
2.3 Laminações.....	25
2.3.1 Laminadores.....	25
2.3.2 Laminações de perfis estruturais.....	26
2.3.2.1 Guias de laminação.....	30
3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	31
3.1 Delineamento da Pesquisa	32
3.2 Coleta e Análise dos Dados	33
3.3 Análise dos dados obtidos.....	34
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	35
4.1 Levantamento da quantidade mínima de mancais para produção	35
4.2 Levantamento da condição real dos mancais em operação.	36

4.2.1 Peritagem dos mancais em operação	37
4.2.2 Inspeção dos mancais em operação.....	39
4.2.3 Inspeção nos mancais fora de operação.....	41
4.3 Análise do escopo de manutenção dos mancais.....	41
4.4 Proposta de melhoria.....	41
4.5 Ganhos	43
5 CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
ANEXOS	49

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Analogia entre saúde humana x saúde da máquina	14
Figura 2: Exemplo de rosca.....	20
Figura 3: Passo e ângulo de hélice de uma rosca.....	23
Figura 4: Tirante M42	24
Figura 5: Porca sextavada.	25
Figura 6 : Perfis estruturais	26
Figura 7: Beam blank para laminação de perfis.	27
Figura 8 : Representação dos cilindros desbastadores.....	28
Figura 9: Representação do grupo tandem, processo X - X- H.....	29
Figura 10: Leito de resfriamento.....	29
Figura 11: Desempenadeira de alma.	30
Figura 12 : Laminação “à mão”: <i>Hand rolling</i>	31
Figura 13: Esquema de laminação com as guias de entrada e saída	31
Figura 14: Peritagem do mancal vertical com braço Faro.	34
Figura 15: Vista frontal do mancal de laminação vertical	37
Figura 16: Desenho da chapa de desgaste inferior do mancal vertical de laminação	38
Figura 17 : Desenho da chapa de desgaste superior do mancal vertical de laminação	38
Figura 18: Rosca M42 do mancal vertical com desgaste	40
Figura 19: Indício de solda nas guias.....	40
Figura 20: Trecho do orçamento do reparo.....	41
Figura 21 - Sistema de fixação modificado	42
Figura 22: Desenho da modificação da fixação das guias dos mancais.	43
Figura 23 - Parte do orçamento do serviço pela empresa prestadora.....	44

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade mínima de mancais para produção	35
Tabela 2: Condição ideal de para operação e manutenção.	36
Tabela 3: Condição real dos mancais verticais	36
Tabela 4: Situação real dos mancais verticasi em operação	39

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Evolução da manutenção	17
Quadro 2: Tipo de roscas e aplicações	22

1 INTRODUÇÃO

O mercado está cada vez mais competitivo em todos os seguimentos. Um destes é a produção de aço, que é fundamental para fabricação de infinitas peças, máquinas, estruturas metálicas, etc. Na maioria das vezes, as siderúrgicas fabricam produtos semiacabados. Desta forma, é necessário que outros seguimentos agreguem valor ao produto para o consumidor final.

É perceptível que para uma empresa se manter viva no mercado ela precisa atingir as expectativas do cliente atendendo todos os pilares da qualidade. Nesse contexto, este estudo visa identificar oportunidades para eliminação de custos de fabricação aplicando técnicas de manutenção e soluções de engenharia para aumentar o lucro sem aumentar o preço para o cliente. O principal método é aplicar ferramentas de gestão de manutenção para prever e eliminar as falhas nos equipamentos e aumentar a confiabilidade do processo de montagens dos mancais verticais de laminação de perfis.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Aumentar a disponibilidade dos mancais verticais do laminador universal Tandem da laminação de perfis.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar as possíveis causas do modo de falhas nos mancais verticais;
- Elaborar um plano de ações para o problema com uso das técnicas de manutenção;
- Verificar qual fator leva ao modo de falha que impede a montagem do mancal;
- Criar plano de manutenção dos mancais verticais;
- Reduzir o custo com manutenção.

1.2 Justificativa

O presente trabalho justifica-se pela necessidade de um estudo mais aprofundado nas causas raízes e módulos de falhas que geram um custo alto com manutenções de reparo, focando nos mancais que alojam os rolos de laminação vertical, rolamentos e guias do laminador de perfis estruturais.

Com o aumento da disponibilidade e confiabilidade dos mancais é possível eliminar perdas por retrabalho, aumentar o número campanhas montadas antecipadamente e, conseqüentemente, reduzir o tempo gasto nas montagens e principalmente reduzir o custo direto com manutenção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, A história da manutenção é apresentada, os tipos e técnicas empregados na manutenção, a engenharia de manutenção e propostas de maneiras mais eficazes e baratas para determinados procedimentos no processo de laminação de perfis estruturais.

2.1 Manutenção

2.1.1 Introdução à manutenção

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994), define que a manutenção é a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Além disso, de acordo com Monchy (1987), a manutenção dos equipamentos é um elemento crucial para a produtividade das empresas e para a qualidade dos produtos. O referido autor (1987) realiza uma comparação entre a saúde humana e a saúde de uma máquina, afirmando que a manutenção é a “medicina das máquinas”, como podemos ver na figura 1:

Figura 1: Analogia entre saúde humana x saúde da máquina



Fonte: Adaptado de Monchy, 1987.

De acordo com os autores Kardec e Nascif (2009, p. 23) a manutenção deve “garantir a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos e instalações de modo atender a um processo de produção ou serviço, com segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados”

Segundo Xenos (1998) somente manter as condições originais do equipamento não são suficientes e a implementação de melhorias que visam aumentar a produtividade devem fazer parte do trabalho do departamento de manutenção, pois ainda existem vários equipamentos antigos em operação cujo o desgaste natural acarreta em um elevado número de intervenções que aumentam o custo fixo de manutenção, portanto, de acordo com o autor devem ser realizadas:

“atividades de melhorias nos equipamentos que visam melhorar suas condições originais de operação, desempenho e confiabilidade intrínseca, através das incorporações de modificações ou alterações no projeto ou configurações original.” (XENOS, 1998, p. 20)

Assim sendo, a principal maneira de aumento, disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, utilizados para entrega dos produtos e/ou serviços de com qualidade e preço competitivo, é a manutenção.

2.1.2 Evolução da manutenção

A manutenção evoluiu por gerações, segundo Gurski (2002) a primeira geração da manutenção compreende o período antes da Segunda Guerra Mundial, quando a indústria ainda era arcaica, e os equipamentos eram simples e superdimensionados. Portanto, nesta época a manutenção se limitava apenas a serviços de limpeza, lubrificação e corretiva não planejada.

A segunda geração ocorreu entre os anos 1950 e 1970, nesse período pós Segunda Grande Guerra, houve grande avanço da mecanização e da complexidade dos equipamentos. Nesta fase era necessário maior disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, surge então o conceito de manutenção preventiva na década de 60, que “consistia em intervenções nos equipamentos feitas a intervalos fixos”. (KARDEC E NASCIF, 2009, p.2).

Nos anos 70 inicia-se a terceira geração da manutenção, onde Gurski (2002) afirma que os impactos no processo industrial afetaram a produção gerando grandes paradas de produção. Conforme diz Gurski (2002):

Na manufatura, os efeitos dos períodos de paralisação foram se agravando pela tendência mundial de utilizar sistemas *just-in-time*, em que estoques reduzidos para a produção em andamento significam que pequenas pausas na produção/entrega, naquele momento, poderiam paralisar a fábrica (GURSKI, 2002, pág. 7).

Assim sendo, a indisponibilidade de equipamentos começou a afetar diretamente na capacidade de produção nominal e no custo de transformação dos produtos. Ainda durante a terceira geração surge o conceito de manutenção preditiva onde Kardec e Nascif (2009, p. 13) reforçam que os causadores de falhas podem ser identificados e corrigidos com antecedência.

Finalmente, a quarta geração foi de continuidade a geração anterior com inovações e desenvolvimento de novas práticas. A disponibilidade continua sendo uma das medidas de desempenho mais importantes, juntamente, a confiabilidade que é um fator de busca da manutenção.

A consolidação da atividade de Engenharia de Manutenção dentro da estrutura organizacional tem na garantia da disponibilidade, confiabilidade e da manutenibilidade as três maiores justificativas da sua existência (KARDEC E NASCIF, 2009).

Kardec e Nascif afirmam que uma das maneiras encontradas para obtenção dos resultados esperados é a prática da análise de falhas que “é uma metodologia consagrada como uma prática capaz de melhorar a performance dos equipamentos e da empresa.” (KARDEC E NASCIF, 2009, p. 4)

O quadro a seguir remete a evolução da manutenção ao longo das quatro gerações:

Quadro 1: Evolução da manutenção

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO				
	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração
Ano				
Aumento das expectativas em relação à Manutenção	.Conserto após falha	.Disponibilidade crescente .Maior vida útil do equipamento	.Maior confiabilidade .Maior disponibilidade .Melhor relação custo-benefício .Preservação do meio ambiente	.Maior confiabilidade .Maior disponibilidade .Preservação do meio ambiente .Segurança .Influir nos resultados do negócio .Gerenciar os ativos
Visão quanto à falha do equipamento	.Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham	.Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira	.Existência de 6 padrões de falhas	.Reduzir drasticamente falhas prematuras
Mudança nas técnicas de Manutenção	.Habilidades voltadas para o reparo	.Planejamento manual da manutenção .Computadores grandes e lentos .Manutenção Preventiva (por tempo)	.Monitoramento da condição .Manutenção preditiva .Análise de risco .Computadores pequenos e rápidos .Softwares potentes .Grupos de trabalho multidisciplinares .Projetos voltados para a confiabilidade .Contratação por mão de obra e serviços	.Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da Condição .Minimização nas Manutenções Preventiva e Corretiva não Planejada .Análise de Falhas .Técnicas de confiabilidade .Manutenibilidade .Engenharia de Manutenção .Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e Custo do Ciclo de Vida .Contratação por resultados

Fonte: Adaptado de Kaderc e Nascif, 2009.

2.1.3 Tipos de manutenção

Existem diversas linhas e tipos de manutenções. Cada uma delas possui uma forma e momento certo de aplicabilidade para ser realizadas. Dentre elas existem algumas que possuem maior destaque e aplicação: a manutenção corretiva não planejada, a manutenção corretiva planejada, a manutenção preventiva e a manutenção preditiva (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.1.3.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é a intervenção necessária para retornar um equipamento para condição original de funcionamento, seja total ou parcial. Naturalmente “a manutenção corretiva é feita sempre após que a falha ocorreu” (XENOS, 1998, p.23)

Segundo Kardec e Nascif (2002), existem condições específicas que levam a manutenção corretiva, são elas o desempenho deficiente apontado pelo acompanhamento das variáveis operacionais e a ocorrência da falha são condições específicas que levam à manutenção corretiva.

A manutenção corretiva é dividida em duas classes: Manutenção corretiva planejada e manutenção corretiva não planejada. Vejamos:

a) Manutenção Corretiva não Planejada

As intervenções realizadas emergencialmente e sem tempo de preparo, são consideradas por Kardec e Nascif (2009) como manutenção corretiva não planejada ou simplesmente emergencial. Esse tipo de manutenção possui custos elevados e podem acarretar em danos secundários não previstos para outros equipamentos.

b) Manutenção Corretiva Planejada

A manutenção corretiva planejada é um conceito que foi implementado após o surgimento da manutenção preditiva e está associada a correção do desempenho

menor do que o esperado ou da falha após uma decisão gerencial baseada no acompanhamento preditivo do equipamento. (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.1.3.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é descrita como a “atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, observando a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo”. (KADERC e NASCIF, 2009, p.42).

Viana também (2002, pág. 10), estabelece que a “manutenção preventiva é todo serviço de manutenção realizado em máquinas que não estejam em falha, estando com isto em condições operacionais ou em estado zero defeito”.

Além disso, também podem existir falhas que não são eliminadas pela manutenção preventiva. Para Xenos (1998) as causas destes fenômenos podem ser tanto a falta de padrões e procedimentos de manutenção quanto a falta de conhecimento e habilidades insuficientes dos técnicos de manutenção e operadores de produção.

Por fim, a manutenção preventiva possui um custo inicial elevado, e apesar de evitar grandes falhas nos equipamentos, muitos componentes são trocados mesmo possuindo condições de uso.

2.1.3.3 Manutenção preditiva

Como mencionado anteriormente, a manutenção preventiva possui um custo elevado devido a troca de peças que ainda poderiam trabalhar. Por outro lado a manutenção preditiva permite otimizar a troca das peças e estender o intervalo de manutenções, isso porque permite prever quando o componente está próximo ao seu limite de funcionamento. (XENOS, 1998).

Kardec e Nascif (2009, p 46) complementam dizendo que “a manutenção preditiva é a que oferece melhores resultados, pois intervém o mínimo possível na planta”.

2.2 Elementos de Fixação

De modo geral é necessário realizar a união de componentes para a montagem de máquinas e/ou equipamentos. Estas uniões são realizadas através do que chamamos elementos de fixação. Os fixadores possuem funções e aplicações diferentes entre si e se dividem em elementos de fixação permanentes e elementos de fixação não permanentes.

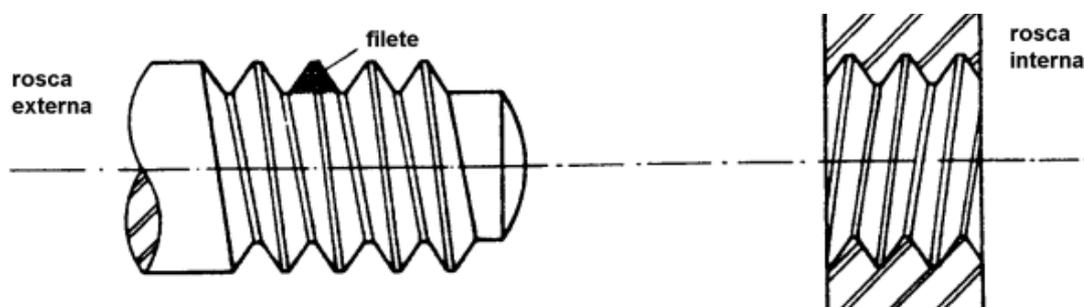
No tipo de união não permanente, os elementos de fixação podem ser colocados ou retirados do conjunto sem causar qualquer dano às peças que foram unidas. Essas uniões são feitas com parafusos, porcas e arruelas.

As uniões permanentes fazem com que os elementos de fixação, uma vez instalados, não possam ser retirados sem que fiquem inutilizados. É o caso, por exemplo, de uniões feitas com rebites e soldas. (GENEROSO,2009)

2.2.1 Roscas

A rosca é o elemento de fixação mais comum entre os fixadores. Em termos gerais, a rosca é uma hélice que faz com que o parafuso avance sobre o material ou porca quando é aplicado um toque sobre o mesmo. Podem ser externas ou internas (NORTON, 2013.)

Figura 2: Exemplo de rosca



Fonte: Fonte: SENAI/CST Noções básicas de elementos de máquinas

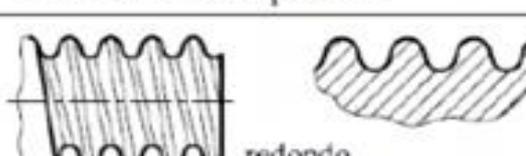
Antes da Segunda Guerra Mundial as roscas não eram padronizadas pelos principais países fabricantes, porém após a guerra foi padronizada na Inglaterra, no Canadá e nos Estados Unidos a série conhecida como *Unified National Standard* (UNS). Já o padrão europeu é definido pela ISO e tem essencialmente a mesma forma de secção transversal de rosca, usando, porém, dimensões métricas e, portanto, não é intercambiável com as roscas UNS. (NORTON, 2013).

As roscas possuem variações no comprimento do passo e são classificadas como grossa, média e fina. Norton (2013, p. 863) descreve as características e aplicações das roscas como:

A série grossa é a mais comum e é recomendada para aplicações comuns, especialmente onde se requerem repetidas inserções e remoções do parafuso ou onde o parafuso é rosqueado em um material mole. Essas roscas tem menos propensão a cruzar ou cortar o material mais mole com um objeto de inserção. Roscas finas são mais resistentes ao afrouxamento decorrente de vibrações que as roscas grossas por causa do seu menor ângulo de hélice e, portanto, são utilizadas em automóveis, aviões e outras aplicações submetidas a vibrações.

Além disso, existem classificações referente ao seu perfil, são elas: triangular, trapezoidal, redonda, quadrada e dente-de-serra. O quadro abaixo descreve detalhadamente a aplicação de cada perfil.

Quadro 2: Tipo de roscas e aplicações

TIPOS DE ROSCAS (PERFIS) PERFIL DE FILETE	APLICAÇÃO
 <p>triangular</p>	Parafusos e porcas de fixação na união de peças. Ex.: Fixação da roda do carro.
 <p>trapezoidal</p>	Parafusos que transmitem movimento suave e uniforme. Ex.: Fusos de máquinas.
 <p>redondo</p>	Parafusos de grandes diâmetros sujeitos a grandes esforços. Ex.: Equipamentos ferroviários.
 <p>quadrado</p>	Parafusos que sofrem grandes esforços e choques. Ex.: Pressas e morsas.
 <p>rosca dente-de-serra</p>	Parafusos que exercem grande esforço num só sentido Ex.: Macacos de catraca

Fonte: Classificação de roscas quanto ao perfil e suas aplicações (FEREIRA, 1996)

As roscas que possuem maior atrito devido ao contato do conjunto são as roscas triangulares (BRETAS, 2009), por isso é ideal para utilização em parafusos e porcas de fixação, podendo ser métrica que é caracterizada por possuir um ângulo de 60° e a *whiworth* com uma inclinação de 55° .

2.2.1.1 Passo e hélice de rosca

O passo de uma rosca é a distância de uma crista a outra, em outras palavras, quando há um cilindro que gira uniformemente e um ponto que se move também uniformemente no sentido longitudinal, em cada volta completa do cilindro, o avanço

(distância percorrida pelo ponto) é chamado de passo e o percurso descrito no cilindro por esse ponto denomina-se hélice. (SENAI, 1996)

O desenvolvimento da hélice forma um triângulo, onde temos:

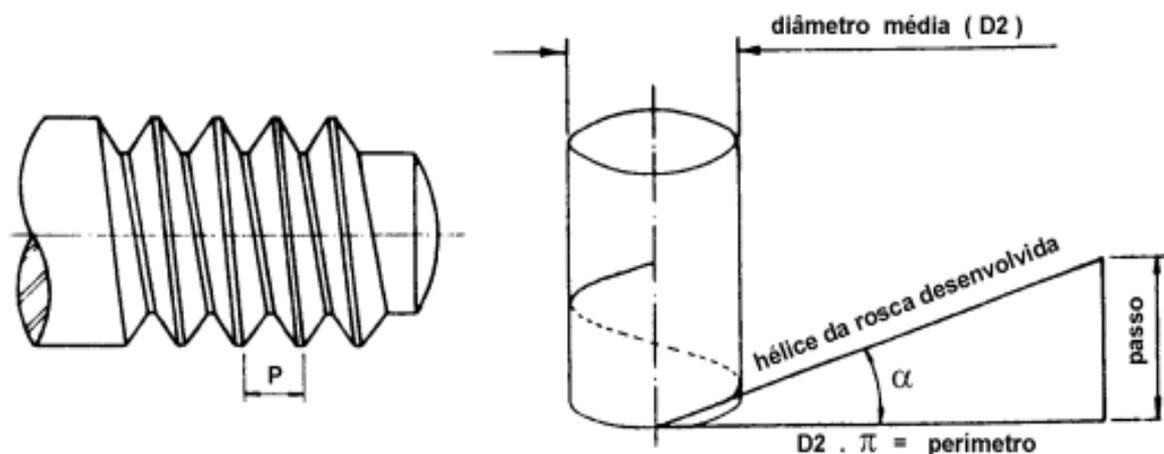
α = ângulo da hélice,

P (passo) = cateto oposto

hélice = hipotenusa

D2 (diâmetro médio) = cateto adjacente.

Figura 3: Passo e ângulo de hélice de uma rosca



Fonte: SENAI, 1996

Quanto maior for o ângulo da hélice, menor será a força de atrito atuando entre a porca e o parafuso, e isto é comprovado através do paralelogramo de forças. Portanto, deve-se ter critério na aplicação do passo da rosca. (SENAI, 1996).

2.2.2 Parafusos

Os parafusos são elementos de fixação não permanentes com corpo cilíndrico e rosca em uma de suas extremidades, utilizadas para a fixação de peças permitindo

a montagem e a desmontagem. Existem vários tipos de parafusos para diversas aplicações, por exemplo: Prisioneiros, allen e sextavado. (ALMEIDA, 2009).

O parafuso prisioneiro é muito empregado em conjuntos mecânicos, pois após o aperto dado do prisioneiro à primeira peça, ele servirá de guia para a segunda peça, porque seu corpo é liso e possui roscas nas duas extremidades, com comprimento suficiente apenas para permitir o aperto das duas partes que serão unidas.

Figura 4: Tirante M42



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

2.2.3 Porcas sextavada ou hexagonal

As porcas também são elementos de fixação não permanentes e são utilizadas juntamente com os parafusos. A porca sextavada possui geometria semelhante ao parafuso de cabeça sextavada. É muito utilizada para fixação de conjuntos mecânicos ou estruturas em geral, desde que o espaço permita o manuseio das chaves de aperto e desaperto. (Almeida, 2009)

Figura 5: Porca sextavada.



Fonte: Manutenção mecânica industrial Almeida, 2009 p.148

2.3 Laminações

De acordo com a Associação Brasileira do Alumínio (ABAL) a laminação “é um processo de transformação mecânica que consiste na redução da seção transversal por compressão do metal, por meio da passagem entre dois cilindros de aço ou ferro fundido com eixos paralelos que giram em torno de si mesmos. Krelling [s.n], descreve o processo da seguinte forma:

É um processo de conformação que consiste na deformação de um metal pela passagem entre dois cilindros rotatórios que giram em sentidos opostos, designados por cilindros de laminação. A força de atrito entre o material e o cilindro provoca a deformação. O material tem sua espessura reduzida de acordo com a abertura entre os cilindros de laminação. Sucessivas passadas através dos cilindros, com aberturas decrescentes, reduzem o material à espessura desejada. (Krelling [s.n]).

A laminação é o processo de conformação mecânica muito utilizado, pois apresenta alta produtividade e produtos acabados com grande controle em dimensionais.

2.3.1 Laminadores

O laminador é o equipamento responsável por realizar todo o processo de conformação mecânica por laminação. Eles são classificados de acordo com a quantidade de cilindros utilizados no laminador: (TECNOLOGIA MECÂNICA,2000)

1. Laminador DUO reversível – 2 rolos com inversão de rotação
2. Laminador TRIO – 3 cilindros

3. Laminador QUADRUO – 4 cilindros
4. Laminador SENDZIMIR – cilindros de trabalho finos suportados por vários outros cilindros mais grossos
5. Laminador UNIVERSAL – 2 Rolos verticais e 2 rolos horizontais

Além dos laminadores, o processo de laminação necessita de outros equipamentos disposta em sequência lógica para realizar o trabalho, são estes: Fornos de reaquecimento, sistema de roletes, guias, serras e/ou tesouras. (TELECURSO 2000)

2.3.2 Laminações de perfis estruturais

A unidade laminação de perfis da cidade de Ouro Brando em Minas Gerais entrou em operação no início de 2002 com capacidade de fabricar até 440 mil toneladas anuais de perfis laminados de abas paralelas I e H, conforme figura 6, com dimensões de 150 a 610 milímetros. Após melhorias implantadas no processo de laminação, em 2013, foram produzidas 533 mil toneladas.

Figura 6 : Perfis estruturais

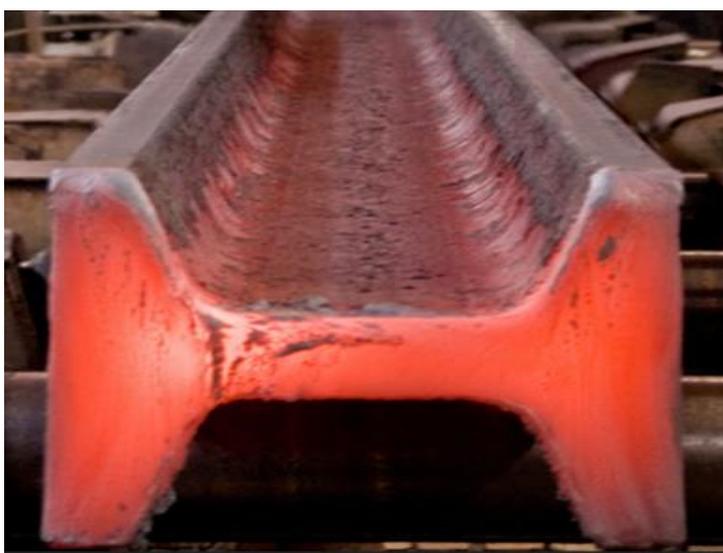


Fonte: Dados da pesquisa (2020)

O manual de capacitação interna da Gerdau, descreve que a laminação de perfis é composta por uma série de equipamentos dispostos em sequência lógica. Basicamente a linha de laminação é composta da seguinte maneira: forno de reaquecimento, descarepador, laminador desbastador 1 (BD1), laminador desbastador 2 (BD2), serra de pontas, trem de laminação denominado de *Tandem*, serras, leito de resfriamento e desempenadeira.

O primeiro processo da linha de laminação de perfis é o forno de reaquecimento do tipo *walking beam* (viga que movimenta o *beam blank* dentro do forno), com capacidade nominal de 160 toneladas/hora. O forno recebe os blocos ou *beam blanks* (insumo já pré-esboçado para a laminação de perfis, também conhecido como osso de cachorro, pela sua geometria na seção transversal da viga), representado na figura 7, que vem do lingotamento contínuo ou da laminação secundária e após atingir a temperatura de 1250°C, estão prontos para serem submetidos ao processo de conformação. Após ser submetido ao reaquecimento homogêneo o bloco é encaminhado para o descarepador, que é o equipamento com função de remover a camada oxidada na superfície do bloco, denominada carepa.

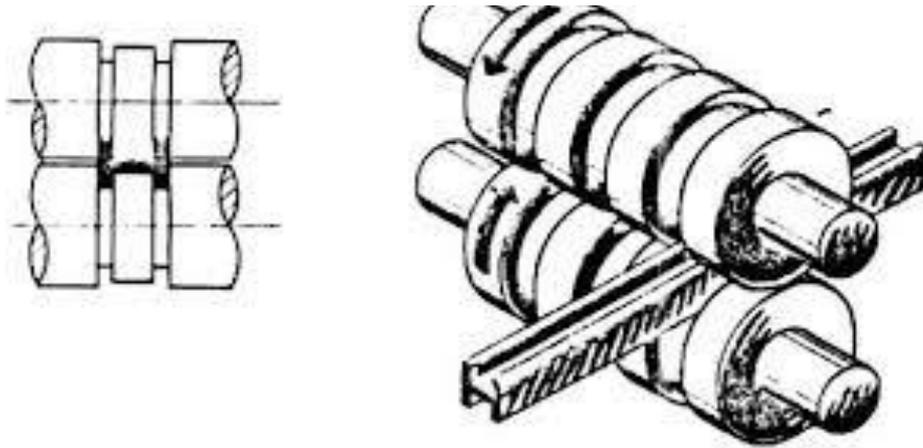
Figura 7: Beam blank para laminação de perfis.



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Concluída a descarepação os blocos são direcionados para os laminadores BD1 e BD2 que são laminadores duo reversível com função de desbastar e modificar a secção transversal formando um esboço para próxima etapa. (SAMPAIO, 2001).

Figura 8 : Representação dos cilindros desbastadores

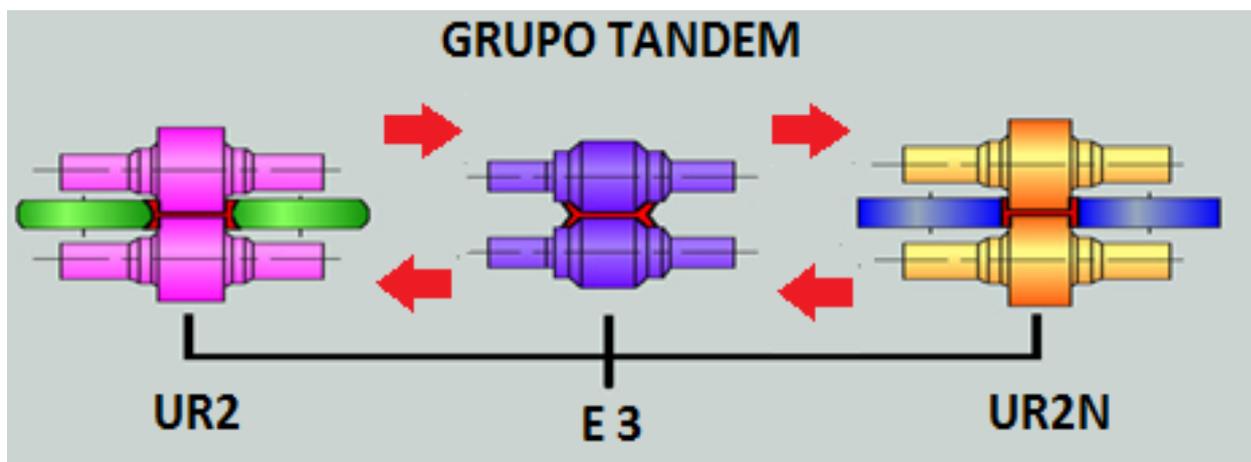


Fonte: Tecnologia mecânica, apostila 3.

Após sair dos laminadores desbastadores, o bloco segue para serra de pontas que tem a função de descartar as pontas (cabeça e cauda) geradas no laminador desbastador. Em seguida o bloco já esboçado é encaminhado para o trem de laminação chamado de grupo tandem.

O processo de conformação mecânica no grupo tandem é realizado por três laminadores. O primeiro é um laminador universal reversível (UR2) que realiza o primeiro desbaste do esboço transformando sua secção transversal em um "X", em seguida temos um laminador duo reversível chamado de edger (E3) que tem função de laminar as bordas do perfil e por último temos outro laminador universal reversível (UR2N), porém este é para realizar a redução final o acabamento da peça deixando com a geometria esperada. Este processo é denominado X – X – H, representado esquematicamente (Módulo Laminadores Universais 2001).

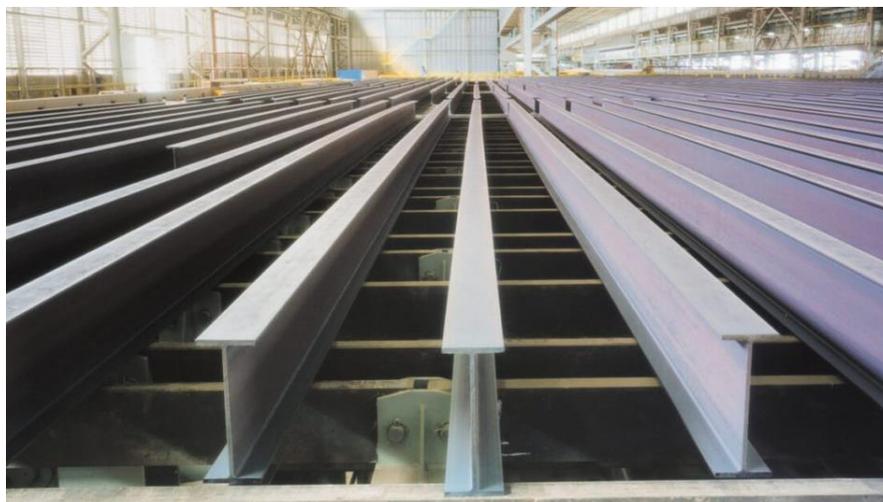
Figura 9: Representação do grupo tandem, processo X - X- H



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Depois de concluído o processo de conformação realizada no grupo tandem o bloco já foi completamente transformando em perfil estrutural, porém em peças com comprimento normalmente superior a 100 metros. Posteriormente são enviados para a serra, que tem por função subdividir o perfil laminado nos comprimentos requeridos pelos clientes. Em seguida os perfis seguem para o leito de resfriamento, para que ocorra o resfriamento para garantir temperatura adequada para última etapa do processo, o desempenho.

Figura 10: Leito de resfriamento.



Fonte: Dados da pesquisa (2020).

De acordo com o manual de capacitação interna da Gerdau, Módulo Desempenadeira (2001), a desempenadeira é uma mesa de rolos que proporciona o desempenho do perfil realizada com a peça a temperatura ambiente, em seguida temos as etapas finais do processo, são elas: leito de inspeção; serra a frio (tem por função remover algum defeito e cortar o perfil em comprimentos especiais requeridos pelo cliente); balança; empilhadeira; cintadeira (tem como função, lacrar um lote de perfis) e assim termina o processo com o perfil acabado e cintado.

Figura 11: Desempenadeira de alma.

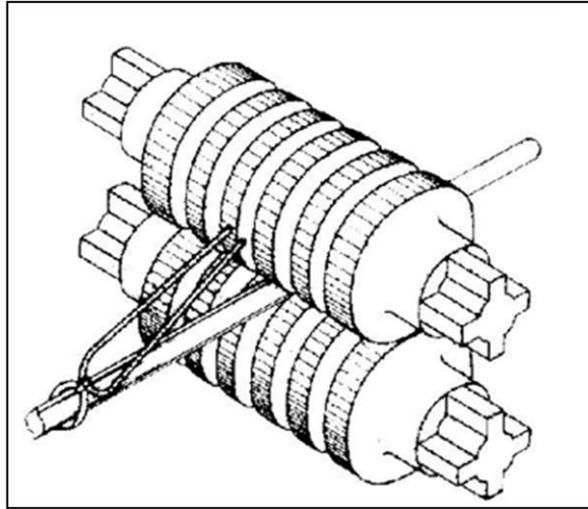


Fonte: Dados da pesquisa (2020)

2.3.2.1 Guias de laminação

O processo de laminação existe a cerca de 150 anos e os laminadores primitivos possuíam apenas as gaiolas e os cilindros com seus mancais e seus acionamentos. Para que o bloco seja laminado com qualidade é necessário o alinhamento perpendicularmente ao canal do cilindro. Nos laminadores primitivos o material laminado era posicionado nos canais e mantido na posição por meio de tenazes manuais. Por essa razão, esse processo ficou conhecido como laminação à mão: *hand-rollingh*. (GERDAU, 2009).

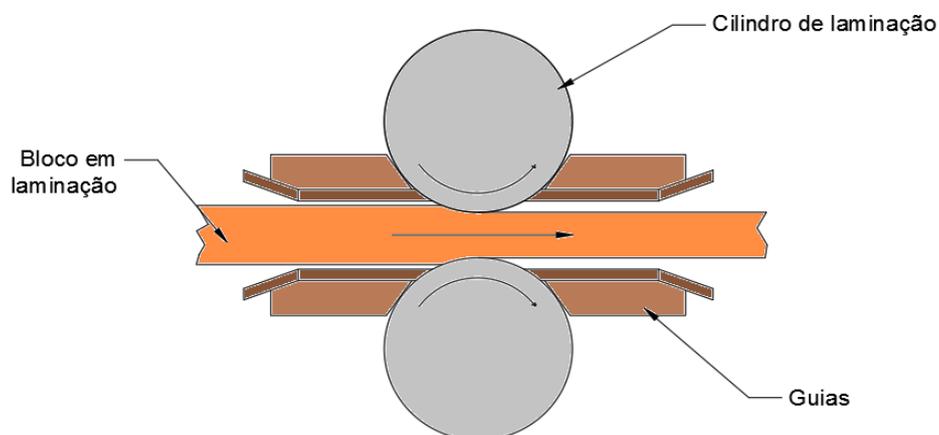
Figura 12 : Laminação “à mão”: *Hand rolling*



Fonte: 1 Módulo de treinamento de laminação, GERDAU, 2009

Com a evolução das laminações foram introduzidas guias para os blocos nos laminadores. As guias tem a ponta da barra para dentro do canal, proporcionando um processo de laminação estável e livre de quebras e sucatas, as guias precisam estar bem fixadas e em suas devidas posições pré-ajustadas. São montadas na entrada e saídas das gaiolas com mesmo alinhamento do canal que está sendo utilizado. (Rizzo, Processos de Laminação de Produtos Longos de Aço, 2010)

Figura 13: Esquema de laminação com as guias de entrada e saída



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para a realização do trabalho, foi necessária a utilização de metodologias bibliográficas, que compreendam os métodos e processos utilizados para obtenção do conhecimento científico, isto é, a orientação geral para se chegar a um fim determinado.

3.1 Delineamento da Pesquisa

Este trabalho é um estudo de caso que foi realizado em uma empresa do ramo siderúrgico, com o objetivo de identificar oportunidades de melhorias de disponibilidade e confiabilidade dos ativos da empresa.

A pesquisa realizada pode ser caracterizada como bibliográfica, exploratória, documental e com método de análise de dados qualitativos e quantitativos.

Esse trabalho apresenta alguns dos principais conceitos de manutenção para que uma empresa alcance a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, desta forma é considerada como pesquisa bibliográfica.

Esta pesquisa é exploratória pois foi desenvolvida pelo próprio executante que convive com a real situação dos mancais de laminação de perfis, a fim de avaliar a verdadeira necessidade e sugerir melhorias para o processo de recuperação dos mancais verticais.

Esta pesquisa é classificada como documental pois foram utilizados documentos e relatórios sistêmicos da empresa para obter dados sobre demanda da quantidade de mancais para operação, escopo de serviço de recuperação e manutenção de equipamentos.

3.2 Coleta e Análise dos Dados

Na etapa de coleta e análise de dados é realizada a pesquisa de campo, mas para obter êxito neste processo, duas qualidades são fundamentais: a paciência e a persistência. (SILVA e MENEZES, 2005, apud SOUZA, 2015 p.32).

Foi necessário a coleta de dados qualitativos e quantitativos. Em relação aos dados quantitativos temos:

- Quantidade mínima de mancais verticais necessários para atender o processo de laminação de perfis;
- Quantidade de mancais em operação;
- Quantidade de mancais parados aguardando reparo;
- Custo de manutenção para reparo dos mancais verticais;
- Quantidade de falhas iguais nos mancais verticais.

Relacionados aos dados qualitativos foi necessário o levantamento dos seguintes dados:

- Situação dimensional dos mancais em operação;
- Condição física dos mancais verticais em operação;
- Quais mancais apresentam o mesmo tipo de falha

A peritagem dos mancais verticais foi realizada com uma máquina de medição por coordenada, chamada de Braço Faro.

Figura 14: Peritagem do mancal vertical com braço



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

3.3 Análise dos dados obtidos

A análise dos dados foi essencial para o entendimento da situação real dos mancais verticais, quais mancais estão em perfeitas condições de uso ou estão em operação com a presença de anomalias e a causa raiz das principais falhas.

Posteriormente verificamos qual o tipo de manutenção a frequência, média e variação dessas atividades. A partir desses dados foi possível efetuar uma análise sobre gastos com esses equipamentos através do escopo de serviço e da verificação do plano de manutenção.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Nos tópicos a seguir, encontram-se os resultados do trabalho com as respectivas análises e propostas de melhorias apresentada pelo autor.

4.1 Levantamento da quantidade mínima de mancais para produção

Segundo o levantamento realizado com os colaboradores envolvidos no processo e apresentado na tabela 1, são necessários, doze mancais para a montagem e desmontagem dos laminadores sem gerar atrasos para produção de perfis.

Tabela 1: Quantidade mínima de mancais para produção

Equipamento	Situação	Quantidade de mancais verticais
Laminador universal X (UR2)	Em operação	2
Laminador universal H (UR2N)	Em operação	2
Laminador universal X (UR2)	Em ajustagem	2
Laminador universal H (UR2N)	Em ajustagem	2
Laminador universal X (UR2)	Em montagem	2
Laminador universal H (UR2N)	Em montagem	2
Total mínimo para produção		12

Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Mas a quantidade mínima não assegura a entrega em caso de ocorrência de falha em algum mancal que necessite de manutenção corretiva. Baseando na quantidade de mancais que a empresa possui independente da condição atual, foi elaborado a condição ideal.

Tabela 2: Condição ideal de para operação e manutenção.

Condição ideal para produção e manutenção	
Situação	Quantidade de mancais verticais
Em operação	12
Reservas	4
Manutenção	4
Total	20

Fonte: Dados da pesquisa (2020)

4.2 Levantamento da condição real dos mancais em operação.

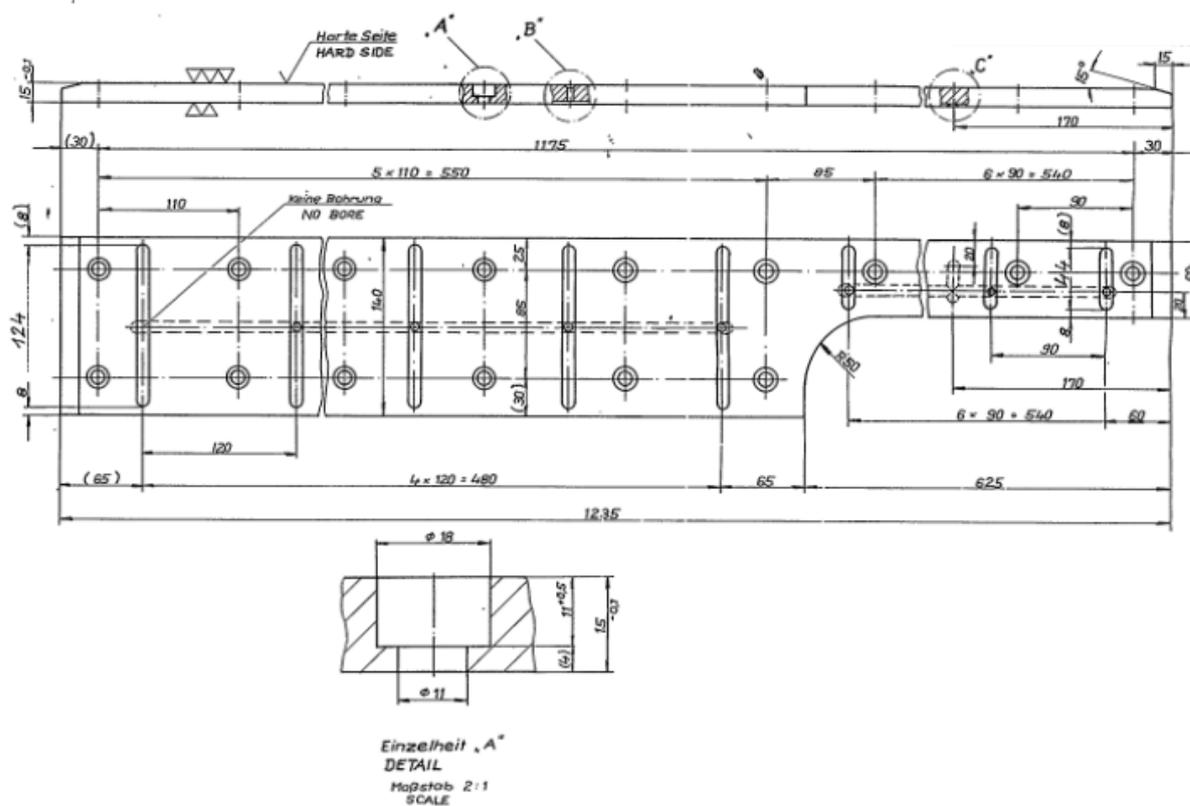
A avaliação física dos mancais verticais foi realizada em maio de 2020. Nesta avaliação foi identificado que faltavam dois mancais para a condição mínima de operação. Além disso os mancais que estavam em operação não possuíam registro ou informações sobre inspeções realizadas. Portanto concluímos que não havia um plano de manutenção para os mancais verticais.

Tabela 3: Condição real dos mancais verticais

Disponibilidade de mancais em maio 2020.	
Mancais em operação	10
Mancais em manutenção	10

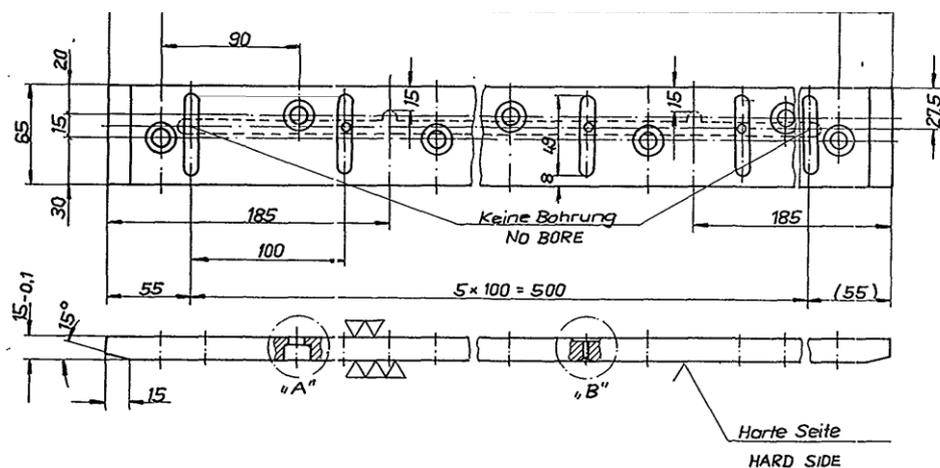
Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Figura 16: Desenho da chapa de desgaste inferior do mancal vertical de laminação



Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Figura 17 : Desenho da chapa de desgaste superior do mancal vertical de laminação



Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Analisando os dados foi constatado que somente o mancal 04 estava dentro da tolerância dimensional baseado nos desenhos do fabricante.

Tabela 4: Situação real dos mancais verticais em operação

TABELA DA SITUAÇÃO DOS MANCAIS EM OPERAÇÃO.						
MANCAL	619,5 mm à 619,3 mm	1159,5 mm à 1159,3 mm	999,5 mm à 999,3 mm	FURO (mm)	PINO (mm)	situação
15	619,50	1159,38	999,56	500,15	499,75	Operação
8	619,72	1159,25	999,32	500,09	498,88	Operação
4	619,51	1159,30	999,37	500,61	499,89	Operação
20	619,18	1159,31	999,26	500,41	499,72	Operação
9	619,54	1158,77	999,23	500,56	499,56	Operação
18	619,10	1159,28	999,25	500,61	499,91	Operação
13	619,46	1159,34	999,15	500,40	499,65	Operação
10	619,56	1159,96	999,16	500,19	499,51	Operação
12	619,62	1159,80	999,37	500,02	499,83	Operação
2	619,39	1159,05	999,29	500,22	500,02	Operação

Fonte: Dados da pesquisa (2020)

4.2.2 Inspeção dos mancais em operação.

A não conformidade na condição dimensional embora seja importante, não gera indisponibilidade dos mancais verticais, porém roscas, sistema de refrigeração e canais de lubrificação são essências para o mancal alcançar a performance esperada durante a laminação. Desses itens citados as roscas de fixação das guias são a que geram o maior impacto.

Os mancais que estavam em operação apresentavam desgaste nas roscas de fixação das guias.

Figura 18: Rosca M42 do mancal vertical com desgaste



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Durante o processo de laminação uma falha na rosca de fixação das guias pode gerar o desprendimento das guias e conseqüentemente provocar o enrolamento do bloco nos mancais verticais. Além de gerar uma interrupção operacional, os danos causados no laminador são inimagináveis, pois além da perda de ativos comprometem a segurança dos colaboradores responsáveis pela desmontagem dos laminadores.

Devido ao cenário com a falta de dois mancais verticais para alcançar a quantidade mínima e os mancais em operação apresentarem desgaste acentuado da rosca era necessário realizar a fixação das guias com processo de soldagem com eletrodo revestido. Apesar de eficaz, o processo de soldagem exige habilidade e conhecimento dos executantes, portanto além de demorado somos limitados pela mão de obra.

Figura 19: Indício de solda nas guias



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

4.2.3 Inspeção nos mancais fora de operação

Foi realizada a inspeção dos mancais que estavam parados com objetivo de identificar a existência de mancais com pequenas anomalias que poderiam ser reparados pela mão de obra interna. Foi identificado que todos os mancais apresentavam desgaste em todas as roscas.

4.3 Análise do escopo de manutenção dos mancais.

O orçamento proposto para recuperação completa dos mancais verticais foi de R\$ 41.422,00. Somente os itens de recuperação da rosca M 42 e fabricação do tirante somam R\$ 3.056,00 reais por mancal, considerando a frota de vinte unidades o gasto somente para recuperação das roscas seria R\$ 61.120,00 por ciclo completo de manutenção.

Figura 20: Trecho do orçamento do reparo.

19	4	2404641	Fabricar Tirante M42 em Aço 4340	282,00	1.128,00
20	4	2404645	Recuperar rosca M42 nos mancais	482,00	1.928,00
21	4	2404650	Fabricar Chapa de Desgaste 1C05D05-Q-3507	1.780,00	7.120,00
22	160	2404657	Parafuso Allen M10 x 15 DIN 6912	8,00	1.280,00
Valor Total					R\$ 41.442,00

Fonte: Escopo de serviço, documento interno

4.4 Proposta de melhoria

A proposta apresentada levou em consideração vários pontos cruciais para reduzir o custo com manutenção e aumentar a disponibilidade dos mancais destacando os seguintes pontos alcançados:

- A montagem é feita de uma única forma, desta maneira não é possível realizar a montagem de forma incorrera;

- A variação na quantidade de calços de 0 a 80 mm é permitida, atendendo todas as faixas de diâmetro dos cilindros de laminação.
- O ajuste da sede que aloja a porca evita o afrouxamento da porca por vibração;
- A substituição da porca é feita de forma rápida e simples evitando a necessidade de envio do mancal para o centro de usinagem;
- A troca do passe de rosca de 2,5 para 3,0 mm aumenta a durabilidade do sistema de fixação.

Figura 21 - Sistema de fixação modificado



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Figura 23 - Parte do orçamento do serviço pela empresa prestadora.

19	4	2404641	Fabricar Tirante M42 em Aço 4340	282,00	1.128,00
20	4	2404645	Recuperar rosca M42 nos mancais	482,00	1.928,00

Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Os itens 19 e 20 são referentes a fixação das guias juntos somam R\$ 3.056,00 de cada um dos vinte mancais. Esta manutenção gerou uma economia de R\$ 61.120,00 por ano.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo evidenciou que vários mancais verticais do laminador de perfis ficavam indisponíveis para operação devido ao desgaste das roscas de fixação das guias. Este desgaste impossibilitava e restringia a montagem dos mancais nos laminadores, que conseqüentemente geravam grandes impactos na produção, pois alguns deles eram enviados para serem reparados em centros de usinagem fora da empresa.

Sendo assim, uma melhoria foi proposta, onde a forma em que as guias eram fixadas foi modificada. Nesta modificação as roscas fixas foram substituídas pelas intercambiáveis. Como consequência das modificações a necessidade de reparo em centros de usinagens externos foi eliminada, houve um aumento de disponibilidade e confiabilidade trazendo vantagens para a rotina de manutenção e montagem dos mancais verticais. Além disso, os erros humanos também foram eliminados devido a substituição dos parafusos prisioneiros pelos parafusos com montagem de sentido único (poka yoke). Outras vantagens trazidas por esta modificação foi a facilidade na troca das porcas e a redução de custo com manutenção de mais de sessenta mil reais por ano.

Futuramente pretende-se evoluir o método de fixação das guias para um sistema de fuso, aliado a um cálculo de espessura de calços com objetivo de reduzir o tempo de montagem e ajustagem do equipamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, P.S. **Manutenção mecânica industrial: conceitos básicos e tecnologia aplicada**. São Paulo: Érica, 2014.

BRETAS, R.A., “**Análise da usinagem de roscas por interpolação helicoidal no ferro fundido vermicular**”. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal de Uberlândia. Minas Gerais, 2009.

DEFEO, J.A. **Six Sigma: Road map for survival**. HR Focus, 1999. Disponível em:<<http://www.uni.com/pqdweb>>. Acesso em: 03 nov. 2020.

FERREIRA, J., GORDO, N., **Telecurso 2000 Profissionalizante: Elementos de Máquinas**. 1 ed. São Paulo, Editora Globo, 1996.

GENEROSO. D.J. **Elementos De Máquinas**. S/D. Disponível em: <http://files.professor-marcelo-mota.webnode.com/200000007e4ec8e6e26/Apostila_elementos_de_maquinas.pdf>. Acessado em:17/06/2020.

GERDAU, Módulo de Treinamento de Laminação, **LAM-002-Guias de laminação, REV. C**, Ouro Branco, 2009.

GERDAU, Módulo de Treinamento de Laminação, **LAM-020-Oficina de Guias, REV. C**, Ouro Branco, 2009.

HAHN, G.J. **The Evolution of Six Sigma**. Milwaukee: Series Quality Engineering, 2000.

INDUFIX. **Roscas: Métrico, Whitworth e Americano**. 2007. Disponível em: <<http://www.indufix.com.br/sistemas-de-rosca-metrico-whitworth-e-americano/>>. Acesso em: 16/06/2020.

INFORMET. **Processos de Conformação Mecânica: Laminação e Trefilação de Aços**.S/D. Disponível em:< <https://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=238>>. Acesso em:13/06/2020

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3.ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2009. p. 384.

MARSHALL JUNIOR, I. et al. **Gestão da Qualidade**. 8. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006. P.195.

MONCHY, F. **A Função Manutenção: Formação para a gerência da Manutenção Industrial**. 1.ed. São Paulo: Ed. Durban, 1987. p.424.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas: Uma abordagem integrada**. 4.ed. Porto Alegre, 2013.

RIZZO, E.M.S. **Processos de laminação dos aços**: uma introdução. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2007

RIZZO, E. M. **Processos de Laminação de Produtos Longos de Aço**. São Paulo: ABM, 2010.

SENAI. **Noções Básicas De Elementos De Máquinas**. Espírito Santo, 1996. Disponível em: < <http://www.abraman.org.br/arquivos/72/72.pdf>>. Acesso em: 13/06/2020.

SAMPAIO, J. P. **Módulo Laminação: Manual de Capacitação Interna da Gerdau**. Laminação de Perfis Estruturais – Gerdau Ouro Branco, 2001.

SAMPAIO, J. P. **Módulo Laminadores Desbastadores: Manual de Capacitação Interna da Gerdau**. Laminação de Perfis Estruturais – Gerdau Ouro Branco, 2001.

SAMPAIO, J. P. **Módulo Laminadores Universais: Manual de Capacitação Interna da Gerdau**. Laminação de Perfis Estruturais – Gerdau Ouro Branco, 2001.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM COMERCIAL – SENAC. **Manutenção Preventiva e Corretiva**. Belém, 2011.

VIANA, H.R.G. **Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

XENOS, H.G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: O Caminho para Eliminar Falhas nos Equipamentos e Aumentar a Produtividade**. 1.ed. Rio de Janeiro: EDG, 1998. p.302.

