



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE DOS ESFORÇOS DE DOBRAMENTO APLICADO POR UMA CALANDRA DE PERFIL

RAFAEL DE CARVALHO DANTAS
NATAL- RN, 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE DOS ESFORÇOS DE DOBRAMENTO APLICADO POR UMA CALANDRA DE PERFIL

RAFAEL DE CARVALHO DANTAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico, orientado pelo Prof. Dr. Luiz Claudio Ferreira da Silva

NATAL - RN

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE DOS ESFORÇOS DE DOBRAMENTO APLICADO POR
UMA CALANDRA DE PERFIL

RAFAEL DE CARVALHO DANTAS

Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso

Prof. Dr. Luiz Claudio Ferreira da Silva _____
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Orientador

Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza _____
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Avaliador Interno

Eng. Elder Samuel Taveira da Silva _____
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Avaliador Interno

Artur Wivys de Araújo Soares _____
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Avaliador Interno

NATAL, 17 de junho de 2019.

Agradecimentos

A Deus por ter me proporcionado saúde e disposição para construção do trabalho.

Aos Meus pais por sempre me incentivarem a nunca desistir.

Ao Professor Luiz Claudio pela dedicação ao me orientar.

Ao Professor Luiz Guilherme por toda ajuda.

Ao Flavio Mafaldo Pela ajuda na construção da Calandra.

Ao Newton Mafaldo Pelo companheirismo na desenvoltura do trabalho.

CARVALHO, R. **Análise dos esforços de dobramento aplicado por uma calandra de perfis**. 2019. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2019.

Resumo

Teve-se a ideia de construir uma máquina a qual fosse possível analisar o sistema de transmissão de potência. A partir disso, viu-se que era possível construir uma calandra apenas com materiais de sucata para baratear os custos e também seria uma maneira de fazer um reaproveitamento desses materiais levando em conta a questão do meio ambiente. Porém ao comprar os materiais, foram observados vários problemas no projeto. Foram usados conceitos aprendidos durante o curso para solucionar esses problemas da melhor forma possível. Na escolha dos materiais que iriam constituir a calandra teve-se muita cautela na seleção, tendo em vista que, cada material fosse aproveitado da melhor forma possível, um exemplo disso foi o tarugo, que ao passar por um processo de fabricação seria o eixo de transmissão, foi escolhido para o eixo um aço de alta dureza, pois sabia-se que o mesmo passaria por esforços que exigiria dureza. Nessa construção foram usados diversos processos de fabricação e conformação para que na hora da montagem tudo se encaixasse da melhor forma possível, sem interferências. Processos esses de torneamento, soldagem, corte plasma e também utilizamos uma furadeira eletromagnética para fazermos furos nas chapas. A ideia da calandra foi muito proveitosa pois conseguiu-se obter resultados positivos em seu funcionamento com um baixo custo na construção, se comparamos custo benefício nosso projeto foi muito proveitoso.

Palavras-chave: Calandra, fabricação, máquina.

CARVALHO, R. Analysis Of Folding Efforts Applied by A Profile Calander. 2019. 65f. Graduation in Mechanical Engineering - Federal University of Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2019.

Abstract

We had the idea of building a machine where we could analyze the power transmission system. From that point on, we researched and saw that it was possible to construct a calandra with only scrap materials to make the costs feasible and would also be a way to reuse these materials taking into account the environmental issue. However, as we began to buy the materials we were faced with several problems in our project, we used concepts learned during the course to solve these problems in the best possible way. In choosing the materials that would constitute the calender we had a lot of caution in the selection, considering that each material was used in the best possible way, an example of this was the billet, that when going through a manufacturing process would be our axis of transmission, we chose for the shaft a steel of high hardness, since we knew that it would undergo efforts that would require hardness. In this construction we used various manufacturing and conformation processes so that at the time of assembly everything fit in the best possible way without interference. These processes of turning, welding, cutting plasma and also we use an electromagnetic drill to drill holes in the plates. This project that we built came from a course in Mechanical Engineering taught by Professor Luiz Claudio (Machine Elements II), it was proposed to bring in the classroom a project of a machine where it would have to have some requirements, three gears and at least two axes. The idea of the calender was very beneficial because we managed to obtain positive results in its operation with a low cost in the construction, if we compared cost benefit our project was very useful.

Keywords: Calender, manufacturing, machine.

Lista de Figuras

Figura1- Curvamento Manual.....	10
Figura2- Curvamento á Maquina.....	10
Figura3- Esquematização da disposição de uma calandra com 3 rolos.....	11
Figura4- Esquematização da disposição de uma calandra com 4 rolos.....	11
Figura5- Calandra de Passo.....	12
Figura 6- Calandra Piramidal.....	12
Figura7- Redutor de velocidade.....	14
Figura 7.1- Engrenagens utilizadas na construção da calandra.....	15
Figura 7.2- Engrenagens Helicoidais.....	16
Figura 7.3- Engrenagem Cônica.....	17
Figura8- Mancal de Esfera.....	18
Figura9- Eixo acoplado a duas enfrenagens.....	21
Figura10- Montagem de um Mancal.....	23
Figura11- Rosca.....	24
Figura12- Parafuso de Potência.....	26
Figura13- Ilustração de alguns tipos de parafuso.....	26
Figura 14- Alguns tipos dePorcas.....	27
Figura15- Ilustração de uma Arruela.....	28
Figura 16- Zona da Solda.....	29
Figura 17- Esquematização do Dobramento.....	35
Figura 18- Ilustrações das tensões no dobramento.....	35
Figura 19- Representação da Linha Neutra.....	36

Figura 20- Ilustração do Raio de Ruptura.....	36
Figura 21- Esquematização do Dobramento de uma chapa Metalica.....	38
Figura 22- Curvamento de uma Haste.....	39
Figura 23- Caneta de Vibração da SKF.....	40
Figura 24- Ilustração de um Motor elétrico.....	40
Figura 25- Tabela com Valores de Vibração.....	41
Figura 26- Motor Elétrico Usado na Calandra.....	41
Figura 27- Ensaio utilizando uma Barra Chata.....	42
Figura 28- Ensaio Utilizando Metalon.....	43

Sumário

Agradecimentos	1
Resumo	2
Abstract	3
Lista de Figuras	4
1 Introdução	8
2 Revisão Bibliográfica	9
2.1 Conformação Mecânica.....	9
2.2 Dobramento e Curvamento.....	9
2.3 Calandras.....	10
2.4 Sistemas da Calandra.....	13
2.4.1 Potência.....	13
2.4.2 Motor.....	13
2.4.3 Redutor.....	14
2.5.4 Engrenagens.....	15
2.5.5 Mancais de Rolamento.....	17
2.5.6 Eixos.....	20
2.6 Mancais.....	22
2.6.1 Sistema de Fixação.....	23
2.7 Solda.....	28
2.7.1 Tipos de Solda de Uso Comum.....	30
2.7.2 Sistema de Lubrificação.....	31
3 Materiais e Métodos.....	33
3.3.1 Materiais.....	33

3.3.2 Metodos.....	34
3.3 Dobramento.....	34
4.1 Introdução.....	34
4.1.2 Análise da Capacidade Elástica do Material na Calandragem.....	35
4.1.3 Raio Interno Mínimo.....	36
4.1.4 Esforços Necessário para o Dobramento.....	36
5 Resultados e Discussão.....	39
6 Conclusão.....	44
7 Referências.....	45

1 INTRODUÇÃO

A ideia da construção da calandra surgiu a partir de uma proposta feita pelo professor orientador Luiz Claudio Ferreira da Silva, que leciona a disciplina de Elementos de Máquinas II. O professor propôs que os alunos apresentassem um projeto de uma máquina que possuísse no mínimo dois eixos e tivesse três engrenagens em seu sistema. A partir dessa proposta houve uma reunião com um componente do grupo que tem um tio que trabalha na área de construção de moveis rústicos a partir de sucata. Vimos a necessidade em possuir uma máquina que realizasse dobramento e relacionamos a proposta do professor. Com a necessidade de efetuar dobramento, começou-se a pesquisar o que construir para facilitar esse processo, então se decidiu construir uma calandra. A princípio, pensou-se que iriam ser gastos uma quantia considerada, porém essa quantia poderia ser reduzida se fosse construída uma máquina com grande parte dos materiais de sucata, e foi assim que se procedeu, grande parte dos materiais utilizados na construção foi de sucata, apenas os rolamentos foram comprados novos.

De início teve-se que juntar peças que estavam sem uso algum, outras foram encontradas na sucata, e isso sempre com a preocupação de sabermos se a peça que estávamos selecionando se encaixaria nas características de nosso projeto. Algumas peças que selecionamos precisaram passar por processos de fabricação para poder se encaixar em nosso esquema, um exemplo disso foi o eixo que é ligado as engrenagens, passou por uma usinagem.

O sistema em si que construímos é constituído por um motor elétrico, onde o mesmo é acoplado a um redutor de velocidade através de um sistema de polias e correias tendo a finalidade de fazer a transferência de potência para o conjunto de engrenagens de dentes retos, que transfere para os eixos da calandra entrarem em funcionamento. Os eixos são acoplados a carcaça da calandra, cada eixo com um par de rolamentos esféricos. Na frente da máquina esses dois eixos fixam a matriz responsável por acoplar o perfil a ser dobrado, além desses dois eixos que estão ligados ao sistema de engrenagens, existe um terceiro eixo que faz o movimento vertical, esse eixo é responsável pela angulação que será resultada ao final da calandragem.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Conformação Mecânica

Conformação mecânica é a modificação da forma de um corpo para outra, pré-definida, com geometria e dimensões controladas, pela aplicação de esforço mecânico (MARTINS, s.d.).

Os processos metalúrgicos subdividem-se em conformação por solidificação, para os quais a temperatura adotada é superior à temperatura de fusão do metal, e a forma final é obtida pela transformação líquido-sólido (ROCHA, 2012).

2.2 Dobramento e Curvamento

O dobramento é usualmente definido como a deformação plástica de uma chapa metálica ao longo de uma linha reta. A operação de dobramento pode ser considerada como um sistema com sete componentes: produto, peça/material, equipamento, punção/matriz, zona de deformação, interface e ambiente. O tipo clássico de conformação por dobramento é a operação para obter curvatura cilíndrica ou cônica em rolos, chamada de calandras (MARCONDES, 2014).

O dobramento pode ser feito manualmente ou à máquina. Quando a operação é feita manualmente, usam-se ferramentas e gabaritos ou máquina de simples confecção. Na operação feita à máquina, usam-se as chamadas prensas dobradeiras ou dobradeiras. A escolha de utilização de um ou outro tipo de operação depende das necessidades de produção (PALMEIRA, 2005).

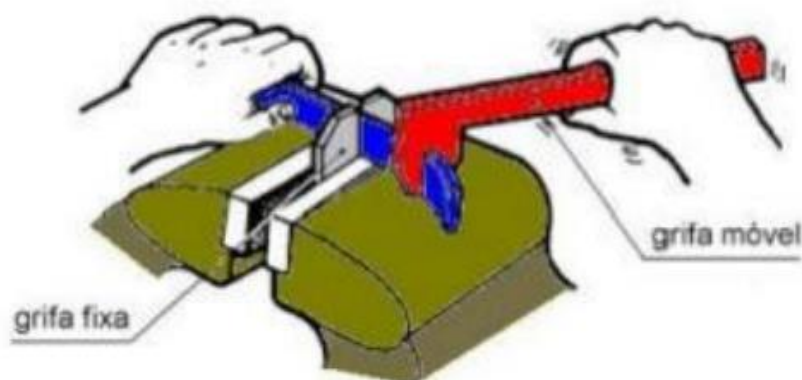
Os processos de dobramento podem ser realizados a quente e a frio. No processo a frio, o material é conformado à temperatura abaixo da temperatura de recristalização e o processo a quente é realizado em temperatura acima da temperatura de recristalização do material. Entre as vantagens de se realizar o dobramento a frio estão: o melhor acabamento superficial, a maior produtividade de peças, nenhuma variação dimensional, além de encruar o material e a não necessidade de equipamentos de aquecimento. Entretanto, o dobramento a frio requer maior energia e máquinas de maiores de potência (GONZÁLEZ, 2000).

O curvamento de chapas e perfis é uma operação pela qual se dá forma cilíndrica ou oval, total ou parcial, a uma chapa ou barra. É realizada por meio de

esforços de flexão feitos por ferramenta manuais, dispositivos ou máquinas. Tal operação é executada a quente ou a frio (COSTA, 2010).

A Figura 1 e a Figura 2 representam curvamento manual e à máquina, respectivamente:

Figura 1: Curvamento Manual.



Fonte: PALMEIRA, 2005.

Figura 2: Curvamento à Máquina.

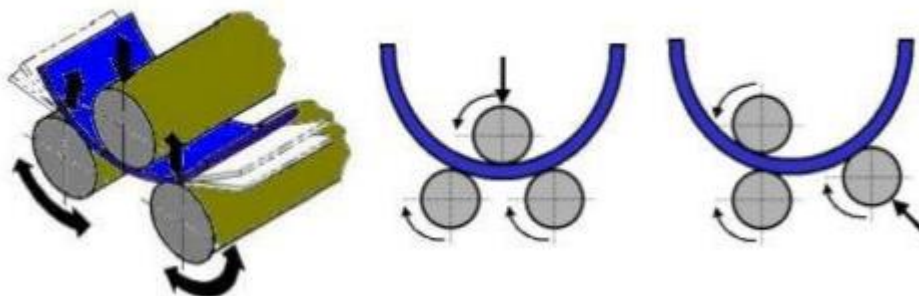


Fonte: PALMEIRA, 2005.

2.3 Calandras

As calandras em geral, possuem 3 ou 4 rolos. As de 3 rolos, demonstrado na Figura 3, são as mais usadas nas indústrias. E as calandras de 4 rolos, apresentado na Figura 4, apresentam a vantagem de facilitar o trabalho de pré-curvamento, pois nas de 3 rolos o pré-curvamento é feito manualmente (PALMEIRA, 2005).

Figura 3: Esquemática da disposição de uma calandra com 3 rolos.



Fonte: PALMEIRA, 2005.

Figura 4: Esquemática da disposição de uma calandra com 4 rolos.



Fonte: PALMEIRA, 2005.

Os tipos de calandra mais comuns são a calandra de passo e a calandra piramidal. Na calandra de passo, Figura 5, a folga entre os rolos que estão alinhados é ajustável para espessuras desejáveis e o rolo de trabalho pode se mover para 16 obtenção de diferentes diâmetros. Este tipo de calandra é adequado para a grande produção de peças de diâmetros menores (PALMEIRA, 2005).

Os tipos de calandra mais comuns são a calandra de passo e a calandra piramidal. Na calandra de passo, Figura 5, a folga entre os rolos que estão alinhados é ajustável para espessuras desejáveis e o rolo de trabalho pode se mover para 16 obtenção de diferentes diâmetros. Este tipo de calandra é adequado para a grande produção de peças de diâmetros menores (PALMEIRA, 2005).

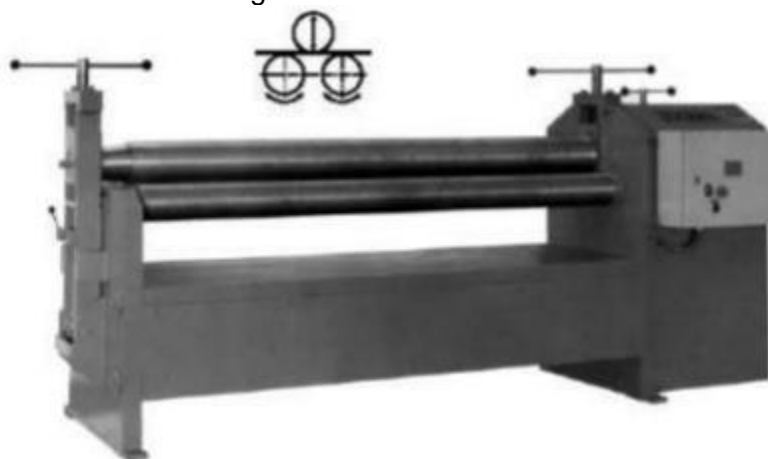
Figura 5: Calandra de Passo.



Fonte: PALMEIRA, 2005.

Na calandra piramidal, Figura 6, o rolo superior pode ser ajustado para exercer maior ou menor pressão, obtendo-se peças de diâmetros maiores ou menores, dependendo da necessidade do operador. O diâmetro máximo da peça é limitado pela estabilidade da peça dobrada.

Figura 6: Calandra Piramidal.



Fonte: PALMEIRA, 2005.

2.4 SISTEMAS DA CALANDRA

2.4.1 Potência

A potência que a calandra irá transmitir ao material a ser calandrado está diretamente relacionado com o motor, o mesmo emite um movimento rotacional a seu eixo que está ligado a um redutor de velocidade, o eixo do redutor está acoplado a engrenagens, em sua entrada a engrenagem é a de menor tamanho, já na saída é de maior tamanho, dentro em vista a transformação de velocidade em torque. A engrenagem de menor diâmetro da calandra é acoplada ao eixo na saída do redutor através de chavetas e a mais duas engrenagens de diâmetros maiores na calandra, onde essas engrenagens vão ser responsáveis pela rotação dos dois eixos fixos na calandra, as engrenagens de maior diâmetro vão estar acopladas as matrizes responsáveis por fixar os diferentes perfis.

2.4.2 Motor

O princípio do motor de indução poder ser ilustrado simplesmente usando o dispositivo. Um ímã permanente é suspenso por um fio sobre um disco de alumínio ou cobre pivotado num mancal de apoio sobre uma placa fixa de ferro. O campo do ímã permanente completa-se assim através da placa de ferro. O pivô deve ter tão pouco atrito quanto possível e o ímã permanente deve ter suficiente densidade de fluxo. Conforme o ímã gira no fio, o disco abaixo dele girará com ele, independentemente do sentido de rotação do ímã. O disco segue o movimento do ímã, devido às correntes parasitas induzidas que aparecem devido ao movimento relativo do condutor (o disco) em relação ao campo magnético. Pela lei de Lenz, o sentido da tensão induzida (e das conseqüentes correntes parasitas) produz um campo que tende a opor-se à força, ou seja, ao movimento que produziu a tensão induzida.

As correntes parasitas induzidas tendem a produzir um pólo unitário S no disco num ponto situado sob o pólo girante N do ímã, e um pólo unitário N no disco sob o pólo girante S do ímã. Enquanto o ímã continua seu movimento, portanto, continuará a produzir correntes parasitas e pólos de polaridades opostas no disco sob ele. O disco, assim, gira no mesmo sentido que o ímã, mas deve girar a uma velocidade menor que a do ímã. Se o disco fosse acionado à mesma velocidade do

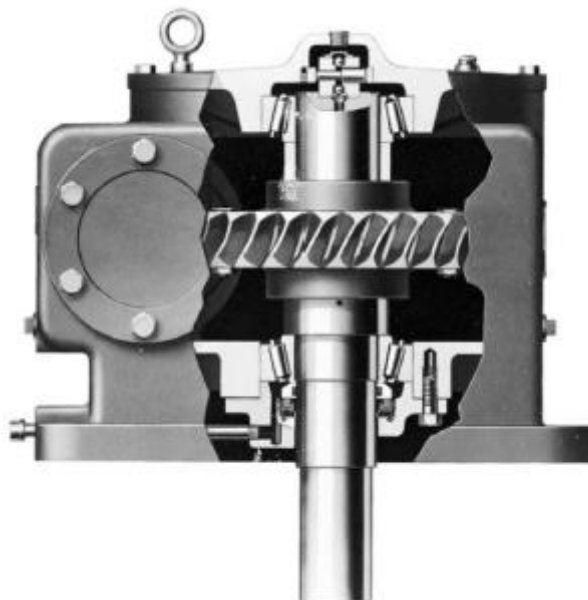
imã, não haveria movimento relativo entre o condutor e o campo magnético, e não se produziriam correntes parasitas no disco.

A velocidade do disco nunca pode ser igual à do imã. Se o fosse, a corrente induzida seria zero e não se produziriam fluxo magnético nem torque. Assim ele deve “escorregar” em velocidade a fim de que se produza torque. Isso resulta numa diferença de velocidades produzidas entre: a velocidade síncrona do campo magnético girante, basicamente uma função da frequência para qualquer máquina de indução dada; e a velocidade de “escorregamento” na qual gira o disco como resultado do torque produzido por interação entre seu campo e o campo magnético girante (KOSOV,1972).

2.4.3 – Redutor

O redutor de velocidade é utilizado para se obter uma redução na transmissão, geralmente empregado onde se tem o desejo de aumentar o torque e diminuindo a velocidade.

Figura 7: Redutor de velocidade



2.5.4 Engrenagens

O meio mais fácil de transferir movimento rotatório de um eixo a outro é com um par de cilindros rodando. Eles podem ser um conjunto externo de cilindros rolando, ou um conjunto interno. Se houver atrito suficiente disponível na interface de rolamento, esse mecanismo funcionará muito bem. Não haverá escorregamento entre os cilindros até que a força de atrito máxima disponível na junção seja excedida pelas demandas da transferência de torque (NORTON,200).

As principais deficiências do mecanismo de comando de rolamento de cilindro são a capacidade relativamente baixa de torque e a possibilidade de escorregamento. Alguns mecanismos de comando requerem sintonia de fase dos eixos de entrada e saída para propósito de sincronismo. Isso requer a adição de alguns dentes aos cilindros rodando. Assim, eles se transformam em engrenagens, e são juntos denominados par de engrenagens. Quando duas engrenagens são colocadas em contato para formar um par de engrenagens como esse, é costumeiro referir-se à menor das duas engrenagens como um pinhão e a outra como engrenagem (NORTON, 2004).

Engrenagens de dentes retos, como mostrado na figura 7.1 consistem em ter dentes paralelos ao eixo de rotação e tem como objetivo transmitir movimento de um eixo a outro eixo, sendo que os eixos estejam em paralelo. (shigley,2008)

Figura 7.1: Engrenagens utilizadas na construção da calandra.

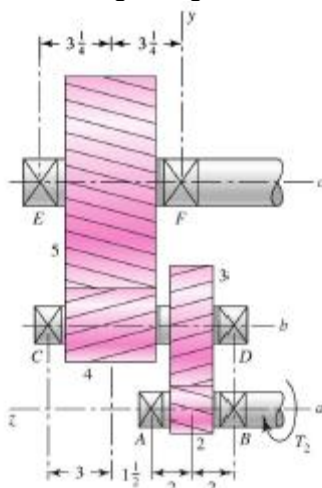


Fonte: Elaborada pelo autor.

Engrenagens helicoidais, como mostrada na figura 7.2 consiste em ter dentes inclinado em relação ao eixo de rotação. Podem ser utilizadas da mesma

forma que a de dentes retos. Esse tipo de engrenagem pode ser utilizadas para transmissão de potência a eixos que não esteja em paralelo. (shigley,2008).

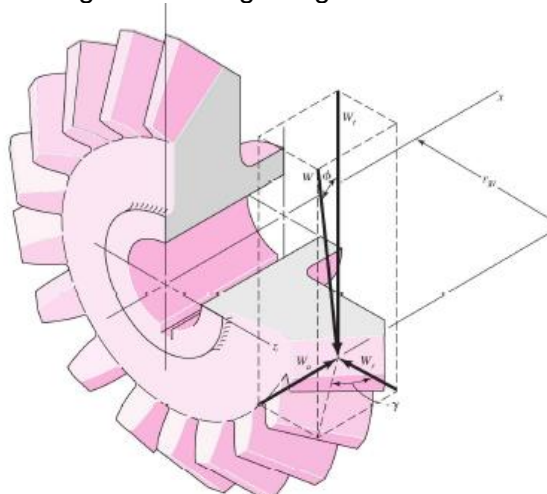
Figura 7.2: Engrenagens Helicoidais.



Fonte: SHIGLEY,2008.

Engrenagens cônicas, como mostrada na figura 7.3, consistem em ter dentes em formato cônico, e geralmente são utilizadas em para a transmissão de movimento entre eixos que se interceptam.

Figura 7.3: Engrenagem Cônica.



Fonte: SHIGLEY, 2008.

2.5.5 Mancais de rolamentos

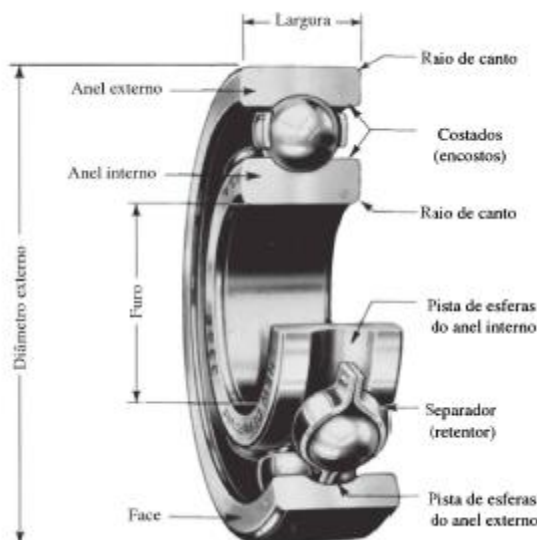
Os termos “mancal de contato com rolamento, mancais antifricção e mancais de rolamento” são utilizados para descrever aquela classe de mancal na qual a carga principal é transferida por elementos de contato rolante no lugar de contato de deslizamento. Em um mancal de rolamento, a fricção de partida é cerca de duas vezes a de funcionamento, porém ainda assim insignificante em comparação com a fricção de partida de um mancal de manga. Carga, velocidade e viscosidade de operação de um lubrificante afetam as características friccionais de um mancal de rolamento. É, provavelmente, um erro descrever um mancal de rolamento como “antifricção, todavia o termo é bastante utilizado de forma generalizada na indústria (SHIGLEY, 2008).

2.5.5.1 Tipos de mancais de rolamentos

Mancais são fabricados para receber cargas radiais puras, cargas de empuxo somente ou uma combinação dos dois tipos de cargas. A nomenclatura de um mancal de esferas é ilustrada na figura a seguir, que também mostra suas quatro partes essenciais, a saber, o anel externo, o anel interno, as esferas ou elementos rolantes e o separador. Em mancais de baixo preço, o separador é algumas vezes omitido, porém tem a importante função de separar os elementos de maneira que o contato por roçamento não ocorra (SHIGLEY, 2008).

Segue abaixo a figura 8, que nos mostra a nomenclatura de um mancal de esfera:

Figura 8: Mancal de Esfera.



Fonte: SHIGLEY, 2008.

Alguns dos vários tipos de mancais padronizados em fabricação estão na figura o mancal de sulco profundo com uma fileira receberá carga radial, assim como algo de carga axial. As esferas são inseridas nos sulcos ao mover o anel interno para uma posição excêntrica. As esferas são separadas após o carregamento e o separador é inserido. O uso de um entalhe de enchimento nos anéis internos e externos permitem que um número grande de esferas seja inserido, aumentando assim a capacidade de carga. A capacidade de empuxo é diminuída, contudo, por causa do colidir das esferas contra a borda do entalhe quando cargas de empuxo estão presentes. O mancal de contato angular proporciona uma capacidade axial maior (SHIGLEY, 2008).

Todos esses mancais podem ser obtidos com blindagem em um ou ambos os lados. As blindagens não proporcionam um fechamento completo, mas oferecem proteção contra a sujeira. Uma variedade de mancais é fabricada com vedação, quando a vedação está presente em ambos os lados, os mancais são lubrificados na fábrica. Embora um mancal vedado se suponha lubrificado para toda a vida, algumas vezes é fornecida uma forma de lubrificação (SHIGLEY, 2008).

Mancais de fileira única aguentam uma pequena quantidade de desalinhamento de eixo causado por deflexão, porém quando o desalinhamento é

severo, mancais auto alinhadores podem ser utilizados. Mancais de fileira dupla são feitos em uma variedade de tipos e tamanhos, para carregar cargas axiais e radiais mais pesadas (SHIGLEY, 2008).

Parte da grande variedade de mancais padronizados de rolos disponíveis é ilustrada na Figura. Mancais de rolos retos carregam uma carga radial maior que mancais de esferas do mesmo tamanho por causa da maior área de contato. Contudo, eles apresentam a desvantagem de requerer uma geometria quase perfeita das pistas e rolos. Um pequeno desalinhamento fará os rolos entortarem, ficando assim fora de linha. Por essa razão, o retentor deve ser pesado (SHIGLEY, 2008).

Mancais de roletes retos não irão, é claro, aceitar cargas axiais. Rolos helicoidais são feitos pelo enrolar de material retangular, após o que estes são endurecidos e retificados. Em virtude da flexibilidade inerente, eles aceitam quantidade considerável de desalinhamento. Se necessário, o eixo e 24 carcaças podem ser utilizados como pistas, em lugar de pistas separadas, interna e externa. Isso é especialmente importante se o espaço radial for limitado (SHIGLEY, 2008).

O mancal axial de rolo esférico é útil onde cargas pesadas e desalinhamento ocorrem. Os elementos esféricos possuem a vantagem de aumentar suas áreas de contato à medida que a carga é intensificada. Mancais de agulha são muito úteis quando o espaço radial é limitado. Possuem uma capacidade de carga alta quando separadores são utilizados, porém podem ser encontrados sem separadores. Eles são oferecidos com e sem pistas. Os mancais de rolos cônicos combinam as vantagens de mancais de esfera e de rolos retos, uma vez que podem aceitar tantas cargas radiais ou axiais ou qualquer combinação das duas e, além disso, possuem a alta capacidade de carregar cargas dos mancais de rolos retos (SHIGLEY, 2008).

O mancal de rolos truncado é desenhado de modo que todos os elementos na superfície do rolo e pistas se interceptam em um ponto comum no eixo do mancal. Quando a esfera ou o rolo do mancal de contato de rolamento rola, tensões de contato ocorrem no anel interno, no elemento rolante e no anel externo. Porque a curvatura dos elementos de contato na direção axial é diferente daquela na direção radial. Se o mancal estiver limpo e for lubrificado apropriadamente, for montado e vedado de maneira que evite a entrada de poeira e sujeira, for mantido nesta condição e operando a temperaturas razoáveis, a fadiga do metal será a única causa de falha (SHIGLEY, 2008).

2.5.6 Eixos

O eixo é um membro rotativo, usualmente de seção transversal circular, usado para transmitir potência ou movimento. Ele provê o eixo de rotação, ou oscilação, de elementos tais como engrenagens, polias, volantes, manivelas, rodas dentadas e similares, e controla a geometria de seus movimentos. O eixo fixo é um membro não rotativo que não transmite torque e é usado para suportar rodas gigantes, polias e similares. O eixo automotivo não é um eixo fixo verdadeiro; o termo é subsistente da era de cavalo e charrete, quando as rodas giravam em membros não rotativos. O eixo não rotativo pode prontamente ser desenhado e analisado como uma viga estática (SHIGLEY, 2008).

2.5.6.1 Materiais de eixo

A deflexão não é afetada pela resistência, mas, ao contrário, pela rigidez como está representado pelo módulo da elasticidade, que é essencialmente constante para todos os aços. Por essa razão, a rigidez não pode ser controlada por meio de decisões relativas ao material, mas somente por decisões geométricas (SHIGLEY, 2008).

A resistência necessária para resistir as tensões de carregamento afeta a escolha de materiais e seus tratamentos. Enrijecimento significativo por tratamento térmico e conteúdo elevado de liga não é frequentemente garantido (SHIGLEY, 2008).

A falha por fadiga é reduzida moderadamente pelo aumento da resistência e, em tal caso, somente até certo nível antes que os efeitos adversos no limite de endurance e na sensibilidade a entalhes que caem a se contrapor aos benefícios da resistência mais elevada. Ao abordar a seleção de material, a quantidade a ser produzida é um fator saliente. Para pequena produção, torneamento é o processo usual primário de conformação. Um ponto de vista econômico pode requerer remoção mínima de material (SHIGLEY, 2008).

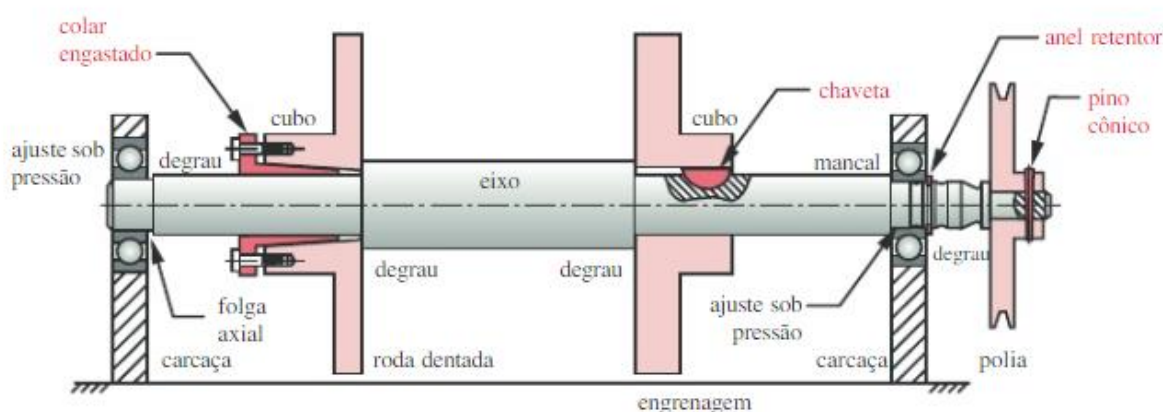
2.5.6.2 Disposição eixos

Às vezes é possível projetar eixos de transmissão úteis que não têm variações do diâmetro de seção ao longo de seu comprimento, mas é mais comum que os eixos tenham um número de degraus ou ressaltos onde o diâmetro mude

para acomodar elementos fixados, como mancais, catracas, engrenagens, etc., como mostrado na Figura 11, que também mostra uma coleção de características comumente usadas para fixar ou localizar elementos em um eixo. Degraus ou ressaltos são necessários para prover precisão e uma localização axial consistente dos elementos fixados, bem como para criar um diâmetro apropriado para alojar peças padronizadas, como mancais (NORTON, 2004).

Chavetas, anéis retentores ou pinos transversais são frequentemente usados para segurar elementos fixados ao eixo a fim de transmitir o torque requerido ou para prender a parte axialmente. As chavetas requerem uma ranhura tanto no eixo quanto na peça e podem precisar de um sistema de parafusos para prevenir o movimento axial. Anéis retentores descavam o eixo e pinos transversais criam um furo através do eixo. Cada uma dessas mudanças no contorno contribuirão para alguma concentração de tensões e isso deve ser incluído nos cálculos das tensões de fadiga para o eixo (NORTON, 2004). A figura 9 mostra nos motra um eixo acoplado com duas engrenagens.

Figura 9: Eixo acoplado a duas engrenagens.



Fonte: NORTON, 2004.

2.5.6.3 Materiais para eixos

A fim de minimizar as deflexões, o aço é a escolha lógica para o material de eixo por causa do seu elevado módulo de elasticidade, embora o ferro fundido ou nodular seja também usado algumas vezes, especialmente se as engrenagens e outras junções forem integralmente fundidas com o eixo. O bronze ou o aço

inoxidável é usado às vezes para ambientes marítimos ou corrosivos. Em locais onde o eixo se apoia no mancal, girando dentro de um mancal de deslizamento, a dureza pode tornar-se um aspecto relevante. Aço endurecido total ou parcialmente pode ser a melhor escolha de material para o eixo nesses casos. Norton (2004).

A maior parte dos eixos de máquinas é feita de aço de baixo ou médio carbono, obtido por laminação a frio ou a quente, embora aços-liga sejam também usados quando se precisa de sua alta resistência. Os aços laminados a frio são mais usados para eixos de diâmetros menores (< de 3 in em diâmetro), e os laminados a quente, para tamanhos maiores. A mesma liga quando laminada a frio tem propriedades mecânicas mais elevadas que quando laminada a quente devido ao encruamento a frio, mas este vem à custa de tensões residuais de tração na superfície. A usinagem de rasgos de chaveta, ranhuras ou degraus liberam essas tensões residuais localmente e podem causar empenamento (NORTON, 2004).

Barras laminadas a quente devem ser usinadas completamente para remover a camada carbonizada externa, enquanto pedaços de uma superfície laminada a frio podem ser deixados como saíram da laminação, exceto quando a usinagem for necessária para acerto dimensional de mancais, etc. Aços para eixo pré-endurecidos (30HRC) de precisão de retífica (retos) podem ser adquiridos em tamanhos pequenos e podem ser usinados com ferramentas de carbureto. Eixos completamente endurecidos (60HRC) de precisão de retífica também estão disponíveis, mas não podem ser usinados (NORTON, 2004).

2.6 Mancais

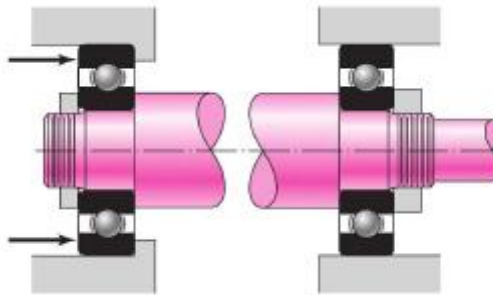
Usamos o termo mancal aqui no sentido mais geral. Sempre que duas partes têm movimento relativo, elas constituem um mancal por definição, sem levar em conta sua forma ou configuração. Normalmente, precisa-se de lubrificação em qualquer mancal para reduzir o atrito e remover o calor. Os mancais podem rolar, escorregar ou fazer ambos simultaneamente (NORTON, 2004).

Um mancal plano é formado por dois materiais quaisquer que se esfregam entre si, como uma camisa ao redor de um eixo ou uma superfície plana sob uma parte que escorrega. No caso de um mancal plano, uma das partes móveis geralmente será de aço, ferro fundido ou algum outro material estrutural a fim de atingir a resistência e a dureza requeridas (NORTON, 2004).

Por exemplo, eixos de transmissão, elos e pinos estão nessa categoria. As partes contras as quais eles se movem normalmente são feitas de um material “de apoio” como bronze, babbitt ou um polímero não metálico. Um mancal plano radial pode ser bipartido para montá-lo no eixo, ou pode ser um círculo completo chamado de bucha. Um mancal axial suporta carga axial. Alternativamente, um mancal de elementos rolantes, que tem esferas de aço endurecidas ou rolos mantidos entre pistas de aço endurecido, pode ser usado para permitir atrito muito baixo (NORTON, 2004).

Mancais planos (Fig. 10) são tipicamente projetados sob especificação para aplicação, enquanto os mancais de elementos rolantes são tipicamente selecionados de catálogos de fabricantes para acomodar as cargas, velocidades e a vida especificada para a aplicação em particular. Mancais de elementos rolantes podem resistir a cargas radiais, axiais ou a uma combinação de ambas, dependendo do projeto (NORTON, 2004).

Figura 10: Montagem de um Mancal.



Fonte: NORTON,2004.

2.6.1 Sistema de fixação

As “porcas e parafusos” presentes em um projeto podem parecer um de seus aspectos menos interessantes, mas são, na verdade, um dos mais fascinantes. O sucesso ou falha de um projeto pode depender da seleção apropriada e uso de fixadores. Além disso, o projeto e a manufatura de juntas é um negócio grande e representa parte significativa da nossa economia. Literalmente milhares de diferentes projetos de juntas são oferecidos pelos

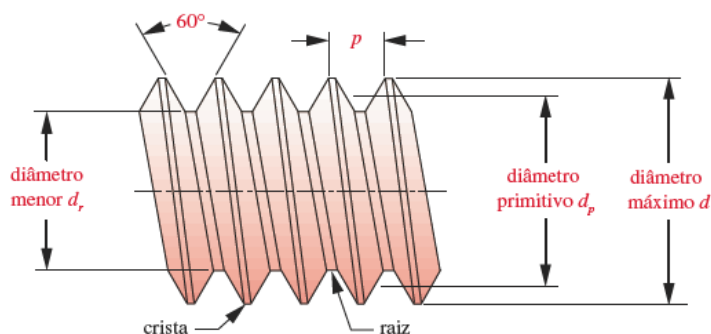
vendedores e milhares a milhões de juntas são utilizadas em uma montagem complexa como um automóvel ou avião. (Norton, 2004)

Há uma imensa variedade de fixadores disponíveis comercialmente, desde os pares parafuso-porca comuns até dispositivos múltiplos para rápida liberação de painéis ou para aplicações envolvendo junções escondidas. Os parafusos são utilizados tanto para manter coisas unidas, como no caso de parafusos de fixação, quanto para mover cargas, como no caso dos chamados parafusos de potência, ou parafusos de avanço. Investigaremos esses dois tipos de aplicações. Parafusos usados para fixação podem ser arranjados para resistir a cargas de tração, de cisalhamento, ou a ambas. (NORTON, 2004)

2.6.1.1 Rosca

O elemento comum entre os vários fixadores é a rosca. Em termos gerais, a rosca é uma hélice que faz com que o parafuso avance sobre o material ou porca quando rotacionado. As roscas podem ser externas (parafuso atarrachante) ou internas (porcas ou furo rosqueado). As formas de roscas originalmente eram diferentes para cada um dos principais países fabricantes, porém, após a Segunda Guerra Mundial, foram padronizadas na Inglaterra, no Canadá e nos Estados Unidos no que hoje se conhece como série Unified National Standard (UNS), como mostrado na Figura 11:

Figura 11: Rosca.



Fonte: NORTON, 2004.

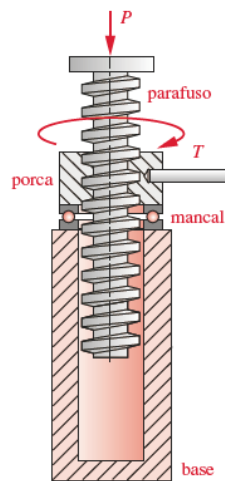
A série grossa é a mais comum e é recomendada para aplicações comuns, especialmente onde se requerem repetidas inserções e remoções do parafuso ou onde o parafuso é rosqueado em um material mole. Essas roscas têm menos propensão a cruzar ou cortar o material mais mole com um objeto de inserção (NORTON, 2004).

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. As roscas da série ultrafina são utilizadas onde a espessura de parede é limitada e suas roscas pequenas são uma vantagem (NORTON, 2004).

2.6.1.2 Parafusos

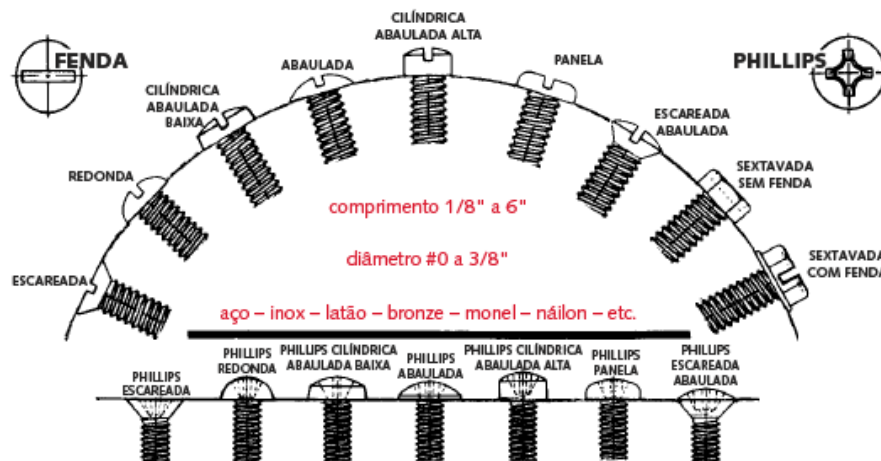
Os parafusos de potência (Fig. 12) também conhecidos como parafusos de avanço, são utilizados para converter movimento rotacional em movimento linear em atuadores, máquinas de produção e macacos, entre várias outras aplicações. Eles são capazes de produzir grande vantagem mecânica e, portanto, podem levantar e mover grandes cargas. Nesses casos, uma rosca muito forte é necessária. Embora as formas padrão descritas acima sejam adequadas para uso em fixadores, elas podem não ser fortes o suficiente para todas as aplicações relacionadas ao uso de parafusos de potência. Outros perfis de rosca (Fig. 13) foram padronizados para essas aplicações.

Figura 12: Parafuso de Potência.



Fonte: NORTON, 2004.

Figura 13: Ilustração de alguns tipos de parafusos.



Fonte: NORTON, 2004.

2.6.1.3 Porcas e arruelas

A Figura 14 é uma amostra da grande quantidade de porcas disponível. A porca de aperto é uma versão estreita da porca hexagonal padrão e é utilizada em combinação com a porca-padrão para travar esta ao parafuso. A porca de castelo tem sulcos para inserção de um pino através de um furo passante ao parafuso e que evita que a porca trabalhe frouxa. Uma porca cega é utilizada com propósitos decorativos e a porca de borboleta permite remoção sem a necessidade de utilização de ferramentas (NORTON, 2004).

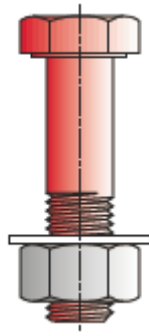
Figura 14: Alguns tipos de Porcas.



Fonte: NORTON, 2004.

Uma arruela simples é uma parte plana, com forma de anel, que serve para aumentar a área de contato entre a cabeça do parafuso ou porca e a parte sujeitada, a figura 15 abaixo ilustra isso. Arruelas de aço endurecido são utilizadas quando a força de compressão da cabeça de parafuso sobre a parte sujeitada necessita ser distribuída sobre uma área maior que a área da cabeça do parafuso ou da porca. Uma arruela mais mole irá escoar em flexão em vez de efetivamente distribuir a carga. Qualquer arruela simples também evita afundamento da superfície da parte quando a porca é apertada. Arruelas não metálicas são usadas quando é necessário isolamento elétrico do parafuso com relação à parte. As arruelas planas têm seus tamanhos idênticos aos padronizados de parafuso (ver a referência 2). Se forem necessárias arruelas maiores que o tamanho-padrão, arruelas para-choques (que possuem um diâmetro externo maior) podem ser utilizadas. Arruelas Belleville (ver a Seção 14.9) são utilizadas em alguns casos sob porcas ou cabeças de parafusos para fornecer um controle das mudanças de força axial ao longo do comprimento do parafuso (NORTON, 2004).

Figura 15: Ilustração de uma Arruela.



Fonte: NORTON, 2004.

2.7 Solda

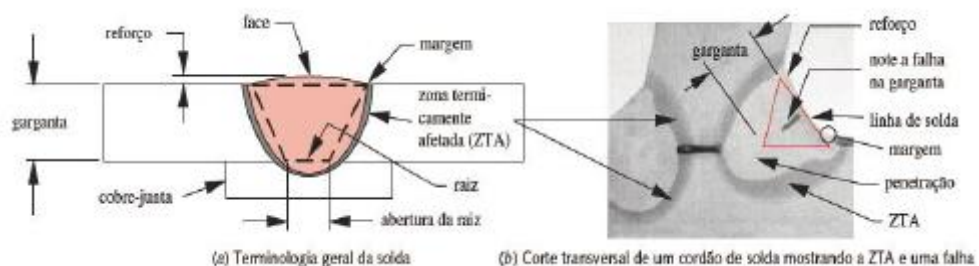
A soldagem de metais a arco requer a aplicação localizada de calor suficiente para fundir o material-base ao mesmo tempo em que o material de adição compatível é adicionado para unir as duas partes. Uma solda corretamente aplicada pode ser tão resistente quanto o material-base, mas se feita de maneira inadequada pode deixar a montagem severamente enfraquecida. O calor é normalmente fornecido pela interposição de um eletrodo na proximidade ou em contato com a superfície, causando a abertura do arco entre o eletrodo e a peça. As máquinas de solda a arco elétrico fornecem corrente CA ou CC em uma tensão suficiente para criar o arco a uma temperatura de 6000-8000 °F, muito acima do ponto de fusão do aço. O material de adição é fornecido como parte do eletrodo ou como uma vareta separada que é alimentada diretamente no arco e é consumida pelo processo (NORTON, 2004).

Uma boa solda requer a fusão do metal em ambos os lados da junta com o material de adição, e a fusão necessita de uma limpeza atômica. O oxigênio do ar irá contaminar rapidamente a superfície com óxidos metálicos a elevadas temperaturas. O nitrogênio presente no ar também pode comprometer a qualidade da solda, e as bolhas aprisionadas no metal fundido causam porosidades à medida que o metal resfria. Umidade no ar ou no metal causará fragilidade por hidrogênio e enfraquecerá a solda. Para prevenir a contaminação do metal aquecido, é fornecido um fluxo de material para recobrir com escória a poça de fusão enquanto resfria, ou então uma corrente de gás inerte (argônio ou hélio) é usada para deslocar o ar. Se a escória estiver presente, ela é retirada quando a solda esfria. Uma boa solda necessita que uma grande massa de metal fundido penetre no metal-base, tornando

o cordão de solda uma combinação entre o material de adição e o material-base. Também existirá a zona termicamente afetada (ZTA). A ZTA pode ser mais fraca que o material-base em aços de alta resistência (acima de 50 kpsi de resistência à tração), ou mais forte e dura que o material-base em aços de baixa resistência, o 36 que provoca a formação de trincas. A resistência do alumínio é reduzida de até 50% na ZTA (NORTON, 2004).

A Figura 16 mostra a terminologia típica da solda. As margens caracterizam a interface entre a solda e o material-base, na face da solda, e a raiz é a base da solda. A preparação das peças para a soldagem pode exigir a usinagem dos chanfros para deixar uma raiz que permita que o calor e o metal de adição a preencham completamente. A abertura da raiz pode exigir o uso de um cobre-junta que tem a finalidade de manter o metal fundente no local até que ele se solidifique. O cobre-junta pode ser do mesmo material da união ou diferente. Se for do mesmo material, será soldado à união, podendo ser deixado ali ou retirado por esmerilhamento. Quando as juntas são carregadas dinamicamente, recomenda-se o uso de cobre-juntas de material diferente, pois as concentrações de tensão se localizarão nele. O reforço é a quantidade de material de solda que se sobressai acima da superfície do material-base. Ele pode ser deixado no local quando a junta é submetida a carregamentos estáticos, mas deve ser removido (retirado por esmerilhamento para remover as concentrações de tensão nas margens) se o carregamento for dinâmico. O material do reforço não contribui para a resistência da solda, independentemente do tipo de carga. A dimensão da garganta, usada para determinar a área sob tensão, exclui qualquer material além da espessura do componente ou da linha de solda. Norton (2004).

Figura 16: Zona da Solda.



Fonte: NORTON, 2004.

2.7.1 Tipos de soldas de uso comum

Soldagem com eletrodos revestidos (SMAW – shielded metal arc welding), também chamada de “solda com eletrodo”, utiliza eletrodos ou varetas de tamanhos 37 definidos, que têm um recobrimento externo com um fluxo. À medida que o arco voltaico funde o eletrodo, o fluxo, no estado líquido, alimenta a poça de fusão cobrindo-a e protegendo-a do contato com o ar. Por não haver um fluxo de proteção gasoso que possa ser espalhado pelo vento, esse método é normalmente empregado para reparos em ambientes externos ou no campo. (NORTON, 2004).

Soldagem com arame tubular (FCAW – flux cored arc welding) utiliza um eletrodo na forma tubular (oco) com o fluxo preenchendo o seu interior. Essa disposição permite que longos comprimentos do arame sejam armazenados em carretéis. A máquina de solda tem um alimentador que leva o arame através da tocha a uma velocidade controlada pelo operador, tornando esse processo contínuo e mais eficiente. A soldagem com arame tubular pode ser aplicada com ou sem gás de proteção. O uso do gás de proteção a torna de fácil uso em ambientes internos, mas com o eletrodo correto ela também pode ser usada sem proteção gasosa (NORTON, 2004).

Soldagem com arame tubular (FCAW – flux cored arc welding) utiliza um eletrodo na forma tubular (oco) com o fluxo preenchendo o seu interior. Essa disposição permite que longos comprimentos do arame sejam armazenados em carretéis. A máquina de solda tem um alimentador que leva o arame através da tocha a uma velocidade controlada pelo operador, tornando esse processo contínuo e mais eficiente. A soldagem com arame tubular pode ser aplicada com ou sem gás de proteção. O uso do gás de proteção a torna de fácil uso em ambientes internos, mas com o eletrodo correto ela também pode ser usada sem proteção gasosa (NORTON, 2004).

Soldagem a arco gás-tungstênio (GTAW – gas tungsten arc welding), chamada de solda TIG (tungsten inert gas), utiliza um eletrodo de tungstênio não consumível. Pode ser usado metal de adição na forma de vareta ou arame. O gás de proteção originalmente utilizado era o hélio, o que tornou este processo conhecido como Heliarc. Esse processo é frequentemente aplicado na solda de alumínio, titânio e magnésio, e também para reparos de precisão. É uma solda limpa, mas padece do mesmo problema com o vento do processo de solda MIG (NORTON, 2004).

A soldagem ao arco submerso (SAW – submerged arc welding) emprega o fluxo na forma de granulado em tal quantidade que a solda fica submersa (enterrada) por uma cobertura tão espessa que o arco não pode ser visto. O operador não precisa utilizar proteção visual especial. O fluxo é direcionado para a região da solda através de um tubo adjacente ou concêntrico ao eletrodo. Após o resfriamento da solda, o fluxo não fundido pode ser varrido ou aspirado para ser reutilizado. A escória é retirada para expor a solda. Esse processo é limitado para soldas executadas em uma superfície de topo e é mais adequado para a produção de soldas em uma oficina onde o movimento do eletrodo possa ser controlado por robô ou de forma semiautomática por meio de guias. Essa solda tem boa aparência e é livre de respingos (NORTON, 2004).

2.7.2 Sistema de lubrificação

Para que um Sistema com varios components mecanicos constantemente em contato permaneça em um bom estado, deve-se atentasse a lubrificação de components que nessecitam (NORTON, 2004).

O objetivo da lubrificação é reduzir a fricção, o desgaste e aquecimento de partes de máquinas que se move em relação umas a outras> um lubrificante é qualquer substancia que, quando inserida entre superficies que se movem,, alcança esses propositos. Em um mancal de deslocamento (manga), um eixo, ou munhão, roda ou oscila dentro da manga, ou bucha, e o movimento relativo é deslizamento. Em um mancal antifricção, o movimento relativo principal é o rolamento. Um seguidor pode rolar ou deslizar no came. Os dentes de engrenagens unem-se entre si por uma combinação de rolamento e deslizaento. Pistoões desliza dentro de seus cilindros. Todas essas aplicações requerem lubrifcação para reduzir a fricção, o desgaste e aquecimento (NORTON, 2004).

Os lubrificantes líquidos são os mais comumente usados e os óleos minerais são os líquidos mais comuns. Graxas são óleos misturados com sabões para formar um lubrificante espesso e pegajoso usado onde os líquidos não podem entrar ou se aderir às superficies. Os lubrificantes sólidos são usados em situações em que os lubrificantes líquidos não podem ser mantidos nas superficies ou carecem de alguma propriedade requerida, como resistência a altas temperaturas. Os lubrificantes gasosos são usados em situações especiais, como bolsas de ar, para obter atrito

excepcionalmente baixo e também para remover calor da interface. A temperatura baixa dos mancais reduz as interações superficiais e o desgaste (NORTON, 2004).

Os lubrificantes sólidos são de dois tipos: materiais que exibem tensões de cisalhamento baixas, como o grafite e o dissulfeto de molibdênio, que são adicionados à interface, e camadas como fosfatos, óxidos ou sulfetos que são produzidas nas superfícies dos materiais. Os materiais de grafite e MoS₂ são tipicamente fornecidos em forma de pó e podem ser levados à interface em um aglutinador de graxa de petróleo ou outro material. Esses lubrificantes secos têm a vantagem de atrito baixo e resistência a altas temperaturas, embora esta última possa estar limitada à escolha do aglutinador. Camadas como fosfatos ou óxidos podem ser depositadas química ou eletroquimicamente. Essas camadas são finas e tendem a desgastar-se em pouco tempo (NORTON, 2004).

2.7.2.1 Tipos de lubrificação

Lubrificação hidrodinâmica significa que as superfícies de carregamento de carga do mancal se encontram separadas por um filme relativamente espesso de lubrificante, a fim de prevenir o contato metal-metal, e que a estabilidade assim obtida possa ser explicada pelas leis da mecânica dos fluidos. A lubrificação hidrodinâmica não depende da introdução de lubrificante sob pressão, embora isso possa ocorrer, mas requer, sim, a existência de um suprimento adequado em todos os momentos. A pressão de filme é criada pela superfície móvel puxando o lubrificante para a zona em forma de cunha, a uma velocidade suficientemente alta a fim de criar a pressão necessária para separar as superfícies contra a carga no mancal. A lubrificação hidrodinâmica é também denominada lubrificação de filme completo ou fluida (SHIGLEY, s.d).

Lubrificação hidrostática é obtida pela introdução do lubrificante (às vezes, ar ou água) na área de suporte de carga, a uma pressão alta o suficiente para separar as superfícies com um filme relativamente espesso de lubrificante. Assim, ao contrário da lubrificação hidrodinâmica, esse tipo de lubrificação não requer o movimento de uma superfície em relação à outra. Não abordaremos a lubrificação hidrostática neste livro, mas o assunto deve ser considerado ao se desenhar mancais cujas velocidades são pequenas ou zero e a resistência friccional deva ser um mínimo absoluto (SHIGLEY, s.d).

Lubrificação elasto-hidrodinâmica é o fenômeno que ocorre quando um lubrificante é introduzido entre superfícies que estão em contato de rolamento, como engrenagens engranzadas ou mancais de rolamento. A explicação matemática requer a teoria de Hertz de tensão de contato e mecânica de fluidos (SHIGLEY, s.)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Os materiais que foram utilizados na construção da calandra estão listados a seguir:

Chapas de aço de medidas:

- Altura total 40 cm;
- Base maior: 48 cm;
- Base menor: 26 cm;
- De diâmetro interno de 800 mm e 01 rolamento axial 40 mm de diâmetro externo e 20 mm de diâmetro interno;
- 04 rolamentos SKF 6028, com 80 mm de diâmetro externo e 40 mm de diâmetro interno, com blindagem;
- 01 Barra de aço de 50 cm de comprimento de 5/8 pol de diâmetro;
- 01 chave Rotativa reversora, motor trifásico;
- Eixos com as seguintes medidas:
 - Encaixe engrenagens : Diâmetro de 20 mm;
 - Encaixe matrizes: Diâmetro de 38 mm;
 - Encaixe rolamentos: Diâmetro de 40 mm;
- 02 Engrenagens de 18 cm de diâmetro, 70 dentes e um ângulo de pressão de 20°;
- 01 engrenagem de 14 cm de diâmetro, 57 dentes e um ângulo de pressão de 20°;
- 01 motor de 1,5 CV, trifásico, com 04 polos e com 1750 rpm;
- 01 motor de 7,5 CV, trifásico, com 02 polos e 3460 rpm;
- 01 Redutor 40:1 com rosca sem fim;

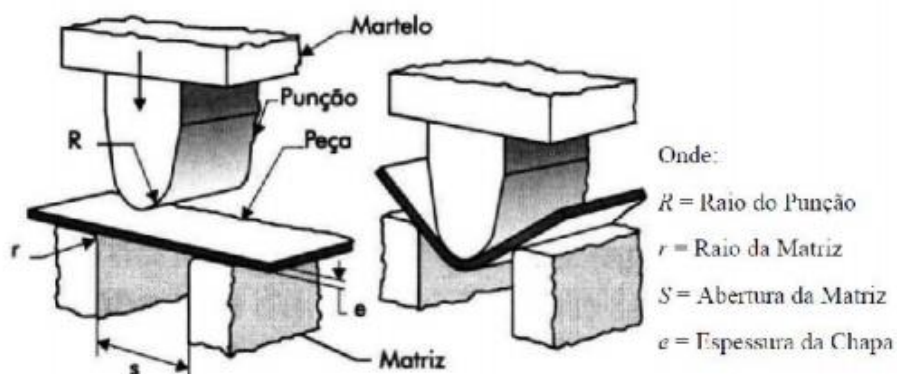
- 01 polia de 70 mm de diametro externo e o furo de encaixe no eixo é de 25mm (encaixe no motor);
- 01 polia de 60mm de diâmetro externo e o furo de encaixe no eixo de 14 mm(encaixe do redutor);
- 01 parafuso de 38cmm de comprimento e diametro de 43;
- 09 parafusos c/ porcas hexagonais, roscas de 3/8 pol, comprimento de 01 pol e cabeça de 14 mm;
- 18 arroelas – Diâmetro externo de 25 mm, interno de 10 mm e espessura de 2 mm;
- 12 parafusos com porcas hexagonais, roscas de 3/8 pol, comprimento de 01 pol e cabeça de 14 mm;
- 24 arroelas – Diametro externo de 25 mm, interno de 10 mm e espessura de 2 mm(GUIAS)
- 08 parafusos hexagonais, roscas de 3/8 pol, comprimento de 01 pol e cabeça de 14 mm;
- 06 parafusos – furo central – parafusos Allen, roscas de 3/8 pol, comprimento de 01 pol e cabeça de 14 mm;
- 02 Anilhas fixadoras;

3.2 Dobramento

Introdução

Quando se deseja uma geometria de curvatura seja em chapas ou em vergalhões, podemos usar um processo de conformação mecânica chamado de dobramento. Tal processo facilita a curvatura do material sem que haja uma diminuição excessiva na espessura. O processo é ilustrado na figura 17.

Figura 17: Esquematização do Dobramento.

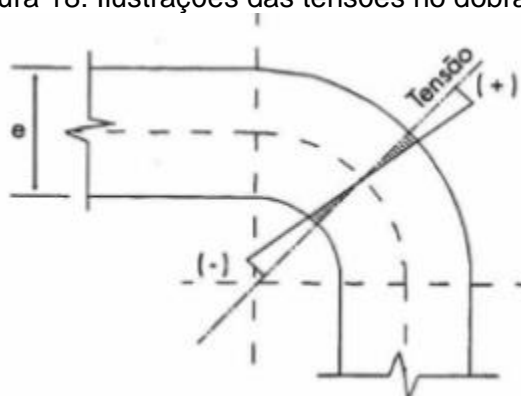


Fonte: COSTA, 2010.

3.3 Análise de capacidade elástica do material na calandra

De acordo com Costa (2010), o dobramento é uma operação em que ocorre uma deformação por flexão. A superfície externa fica tracionada, sofrendo uma redução de espessura, e a interna comprimida. Essas tensões aumentam a partir de uma linha neutra, chegando a valores máximos nas camadas externas. A figura 18 ilustra essas tensões.

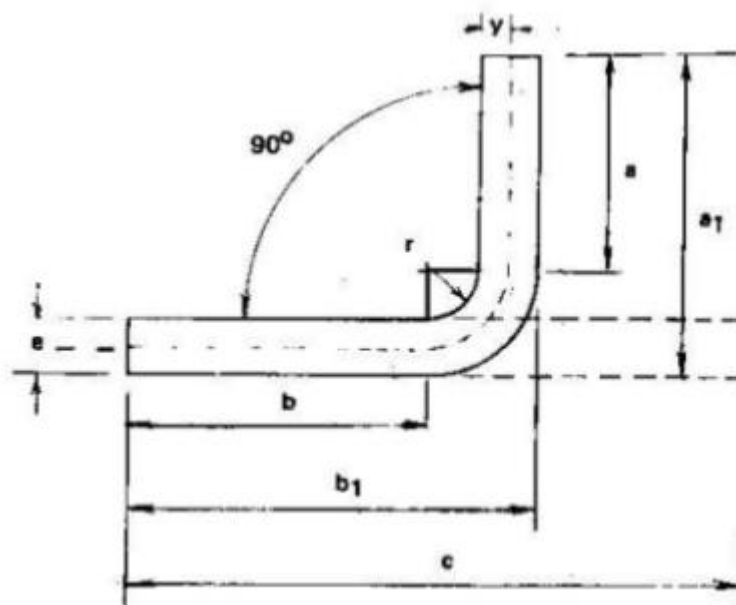
Figura 18: Ilustrações das tensões no dobramento.



Fonte: COSTA, 2010.

Segundo Costa (2010), Toda vez que se deve obter um elemento dobrado, segundo um perfil determinado deve-se conhecer o desenvolvimento linear ou dimensões exatas do objeto a ser curvado, sendo assim devemos obter a linha neutra, que está representada na figura 19.

Figura 19: Representação da Linha Neutra.



Fonte: COSTA, 2010.

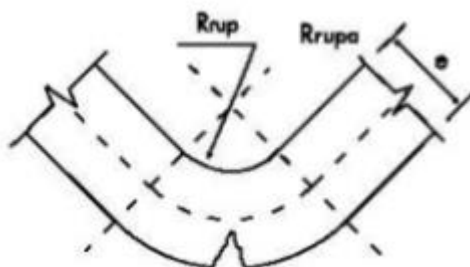
De acordo com Costa (2010), a linha neutra pode ser calculada pela equação 1.

$$Y = \frac{2(c-a-b)}{r} - r \quad (1)$$

3.4 Raio mínimo interno

De acordo com Costa (2010), quanto menor o raio de dobramento, maior as tensões desenvolvidas na região tracionada. Um excessivo tracionamento provocado por um pequeno raio de dobramento pode vir a romper as fibras externas da chapa dobrada. Define-se o raio mínimo de dobra, como o valor admissível para o raio para evitar grande variação de espessura da chapa na região dobrada. A figura 20 ilustra o raio de ruptura.

Figura 20: Ilustração do Raio de Ruptura.



Fonte: COSTA, 2010.

De acordo com Costa (2010), a equação para determinação do raio de ruptura é demonstrada pela equação (2).

$$R_{\min} = \frac{50e}{Al} * \frac{e}{2} \quad (2)$$

Onde: R_{\min} = Raio mínimo. [M]

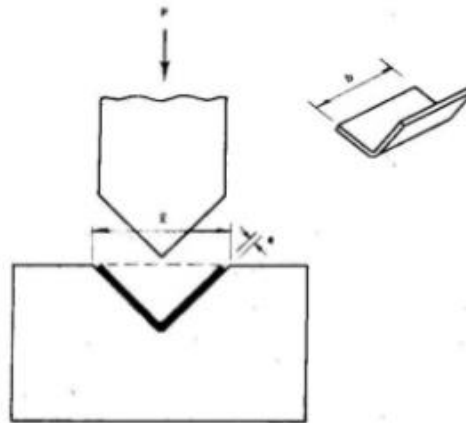
Al = Alongamento da chapa. [M]

e = Espessura da chapa. [M]

3.5 Esforços necessários para o dobramento

Uma chapa metálica colocada sobre uma matriz de dobramento e sujeita ao esforço de dobramento, como mostrado na figura 21. Admitindo que a chapa se comporte como um sólido apoiada nas extremidades e carregamento no centro.

Figura 20: Esquematização do Dobramento de uma chapa Metálica.



Fonte: COSTA, 2010.

Segundo Costa a força de dobramento é dada pela equação (3)

$$P = \frac{2\sigma_f b e^2}{3l} \quad (3)$$

Onde: P= Força de dobramento. [N]

σ_f =Tensão de flexão necessária para se obter a deformação permanente.

[Pa]

l= Distancia entre os dois apoios. [M]

e= Espessura da chapa. [M]

b= Largura da chapa. [M]

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao final da montagem do nosso projeto iniciamos a fase de teste, e no primeiro teste toda a calandra funcionou de forma correta, como já era de se esperar. Todo o sistema alinhado e aparentemente nada de errado com seu funcionamento.

A figura 22 mostra o primeiro ensaio, a calandra curvando uma haste de diâmetro 10 mm e 1,5 m de comprimento.

Figura 22: Curvamento de uma Haste.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Como grande parte do material foi adquirido em sucata, e só podíamos analisar as peças externamente, fizemos uma análise de vibração com uma caneta SKF de modelo 100 L-S mostrada na figura 23.

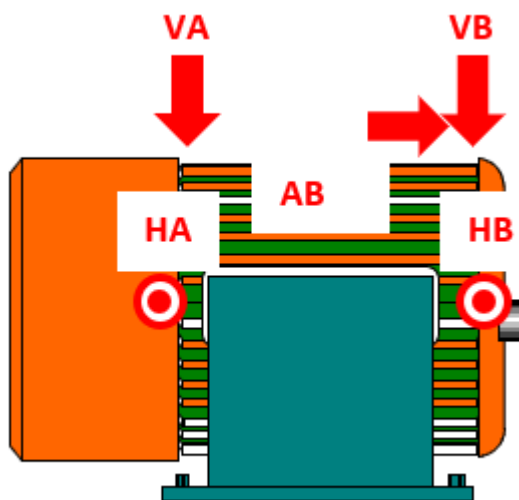
Figura 23: Caneta de Vibração da SKF



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tirou-se varias medidas do motor elétrico em vários locais como mostra a ilustração na figura 24.

Figura 24: Ilustração de um Motor elétrico.



Fonte: Elaborada pelo autor.

E todos os valores estão dentro da norma ISSO 10816-3, com valores mostrado na figura 25.

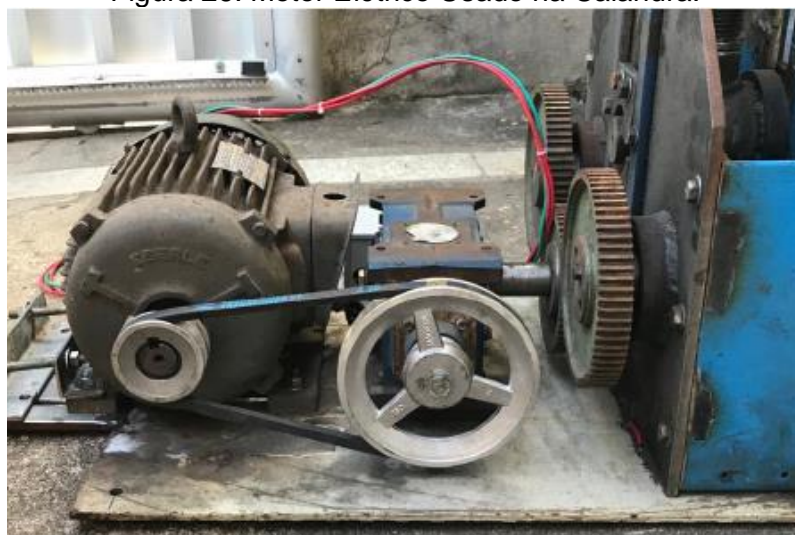
Figura 25: Tabela com Valores de Vibração.

		mm/s	gE	°C
Motor Eléctrico Calandra	HA	4	2	48
	VA	3,5	2,5	47
	HB	2,9	2,7	46
	VB	3,5	3,9	46
	AB	4,9	4,5	47
	HC	4,6	4,5	48
	VC	4,2	4,7	49
	HD	3,5	3,8	47
	VD	2,9	3,7	47
	AD	4,6	3,4	48,5

Fonte: Elaborada pelo autor.

A figura 26 mostra a foto real do motor elétrico usado para transmitir a rotação para o sistema da calandra.

Figura 26: Motor Eléctrico Usado na Calandra.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O ensaio final para realização do dobramento foi realizado com o motor de 7,5 CV, trifásico, com 02 polos e 3460 rpm e com a polia de 60mm acoplado ao mesmo e a de 150mm ao redutor. O teste foi realizado primeiramente com uma barra chata de 2,5 metros de comprimento, 3 cm de largura e 0,3 de espessura. O

passe da barra foi de aproximadamente 20 segundos, a figura 27 mostra esse ensaio.

Figura 27: Ensaio utilizando uma Barra Chata.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Também foi dobrado um metalon 30 mm x 20 mm , comprimento de 1,60 metros e 0,95mm de espessura, com o tempo do passe foi de aproximadamente 12 segundos. A figura 28 mostra o ensaio com o Metalon.

Figura 28: Ensaio Utilizando Metalon.



Fonte: Elaborada pelo autor.

5 CONCLUSÕES

O projeto apresentou resultados satisfatórios, pois conseguiu-se fabricar e por em funcionamento a calandra. Com isso o proprietário da oficina terá uma maior comodidade quando for efetuar o dobramento de algum objeto, sem se preocupar com questões de desigualdade no dobramento da peça, o que ocorria da forma manual.

O projeto demonstrou que é possível desenvolver uma calandra a partir de materiais reciclados, de tal forma que custos são otimizados e isso envolve sustentabilidade no desenvolvimento. Desde a escolha do material até o design passamos por seleções para saber qual melhor material ou forma de ser construída.

Ao verificar o funcionamento foi observado que a escolha dos materiais foi correta, que por sinal, era a maior preocupação, já que seriam impostas algumas forças de grande intensidade.

Conclui-se com a análise de vibração que a calandra está em perfeito estado de funcionamento, todos os componentes de transmissão de potência estão alinhados.

Em relação aos custos do projeto, toda a fabricação da calandra ficou em torno de dois mil reais, comparando com uma calandra similar a do projeto, está custando no mercado cerca de oito mil reais, conclui-se que houve uma economia aproximadamente de seis mil reais.

O projeto demonstrou-se viável, pois conseguiu-se efetuar o dobramento de forma satisfatória, além de diminuir o tempo de dobramento. Considerando o custo benefício, o projeto foi um sucesso.

6 REFERÊNCIAS

AL-QURESHI, H. A. On the mechanics of sheet metal bending with confined compressible dies, *Journal of Mechanical Technology* vol.1, nº 1, , pp. 261-275, 1977.

COSTA, M.B.S. *Tecnologia de Caldeiraria*. Duque de Caxias: Escola Técnica Atenew, 2010. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/52339271/Tecnologia-de-Caldeiraria#page=24>. Acesso em: 01 out. 2014.

MARTINS, F. **Conformação Mecânica ME - 65 I**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, s.d.

NORTON, R.L. **Projeto de Maquinas: Uma abordagem integrada**. 2ª ed. São Paulo: Bookman, 2004.

PALMEIRA, A.A. **Processos de Dobramentos e Calandragem**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Campus Regional de Rezende, 2005. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/Thrunks/cap-7-dobramento>. Acessado em: 04 set. 2014.

ROCHA, O.F.L. *Conformação mecânica*. Belém: IFPA, 2012. Disponível em: http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_metal/conform_mec/161012_confor_mec.pdf. Acessado em 20 ago. 2014.

SHIGLEY, R.G. **Elementos de máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica**, s.d.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Natal, 17 de junho de 2019.

Ao(s) **dezessete** dia(s) do mês de **junho** do ano de **dois mil e dezenove**, às **quinze horas e trinta minutos**, no **Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar**, neste Campus Universitário, instalou-se a banca examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso do(a) aluno(a) **RAFAEL DE CARVALHO DANTAS**, matrícula **20170009641**, do curso de Engenharia Mecânica. A banca examinadora foi composta pelos seguintes membros: **LUIZ CLAUDIO FERREIRA DA SILVA**, orientador; **LUIZ GUILHERME MEIRA DE SOUZA**, examinador interno; **ELDER SAMUEL TAVEIRA DA SILVA**, examinador interno; **ARTUR WIVYS DE ARAUJO SOARES**, examinador interno. Deu-se início à abertura dos trabalhos pelo **LUIZ CLAUDIO FERREIRA DA SILVA**, que após apresentar os membros da banca examinadora, solicitou a (o) candidato (a) que iniciasse a apresentação do trabalho de conclusão de curso, intitulado **“ANALISES DOS ESFORÇOS DE DOBRAMENTO APLICADO POR UMA CALANDRA DE PERFIL”**, marcando um tempo de trinta minutos para a apresentação. Concluída a exposição, **LUIZ CLAUDIO FERREIRA DA SILVA**, orientador, passou a palavra aos examinadores para arguirem o(a) candidato(a); após o que fez suas considerações sobre o trabalho em julgamento; tendo sido Alaoujo, o(a) candidato(a), conforme as normas vigentes na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. A versão final do trabalho deverá ser entregue à Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica, no prazo de 07 dias; contendo as modificações sugeridas pela banca examinadora e constante na folha de correção anexa. Conforme o que rege o Projeto Político Pedagógico do Curso de Engenharia Mecânica da UFRN, o(a) candidato(a) não será o aprovado(a) se não cumprir as exigências acima.



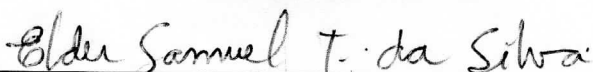
LUIZ CLAUDIO FERREIRA DA SILVA

Orientador



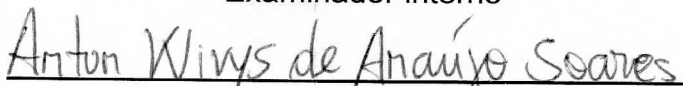
LUIZ GUILHERME MEIRA DE SOUZA

Examinador interno



ELDER SAMUEL TAVEIRA DA SILVA

Examinador interno



ARTUR WIVYS DE ARAUJO SOARES

Examinador interno