

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

EDUARDO FELIX CORDEIRO DOS SANTOS

**MOVIMENTADOR VERTICAL DE OBJETOS
ALVO PARA DEPOSIÇÃO DE CERÂMICAS E
METAIS EM SUA SUPERFÍCIE ATRAVÉS DE
USO DE MAÇARICO PLASMA SPRAY**

VITÓRIA
2004

EDUARDO FELIX CORDEIRO DOS SANTOS

**MOVIMENTADOR VERTICAL DE OBJETOS
ALVO PARA DEPOSIÇÃO DE CERÂMICAS E
METAIS EM SUA SUPERFÍCIE ATRAVÉS DE
USO DE MAÇARICO PLASMA SPRAY**

Trabalho acadêmico apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Engenheiro Mecânico, na área de Sistemas Mecânicos.

Orientador: Prof. Mestre Oswaldo Paiva A. Filho

Co-Orientador: Prof. Dr. Alfredo Gonçalves Cunha

VITÓRIA
2004

EDUARDO FELIX CORDEIRO DOS SANTOS

MOVIMENTADOR VERTICAL DE OBJETOS ALVO PARA DEPOSIÇÃO DE CERÂMICAS E METAIS EM SUA SUPERFÍCIE ATRAVÉS DE USO DE MAÇARICO PLASMA SPRAY

Trabalho acadêmico apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Engenheiro Mecânico, na área de Sistemas Mecânicos.

Aprovado em ____ de _____ de 2004

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Alfredo Gonçalves Cunha

Prof. David Sampaio

Prof. Geraldo Sisquini

Prof. Oswaldo Paiva A. Filho

Dedico este trabalho a Daniela Marques do Anjos, que me deu apoio e carinho durante os difíceis anos que passei no curso Engenharia Mecânica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais que cuidaram de tudo para que minhas únicas preocupações fossem os meus estudos e meu desenvolvimento como pessoa. Agradeço ao meu irmão pelo incentivo que me deu durante o curso de Engenharia Mecânica. Agradeço aos meus orientadores, Prof. Dr. Alfredo Gonçalves Cunha e o Prof. Me. Oswaldo Paiva A. Filho, que sempre estavam dispostos a acompanhar o desenvolvimento deste projeto e me guiar quando estava no caminho errado. Devo muito ao Eng. Mecânico Danti Poltronieri e ao mestrando José Tomé, aos quais, respectivamente, eu podia contar a qualquer hora para tirar dúvidas na parte prática de mecânica e de informática. Agradeço ao apoio especial que recebi do Prof. Dr. Fernando Menandro, que também sempre tirava as minhas dúvidas quando eu o procurava e me auxiliou na parte da análise de elementos finitos. Finalmente, agradeço a toda equipe do Laboratório de Plasma de Térmico, que contribuíram e muito, com o bom humor e companheirismo, o que me ajudou a desenvolver o projeto com mente tranqüila e serena.

RESUMO

Dimensionamento da parte mecânica do projeto de um equipamento de movimentação de objetos destinados a ter sua superfície, inteira ou parte dela, coberta por cerâmicas ou metais através da técnica de Plasma Spray. São relatados aspectos referentes a construção mecânica do projeto, e metodologia a ser seguida implementação do controle automático. Também são feitas considerações quanto aos procedimentos de operação.

LISTA DE SIGLAS

3D – Três Dimensões

AISI – American Iron and Steel Institute

AWS – American Welding Society

CAD - Computer Assisted Design

CCE – Centro de Ciências Exatas

DIN – Deutsches Institut für Normung

LPT – Laboratório de Plasma Térmico

IHM – Interface Homem Máquina

ISO – International Organization for Standardization

PC – Personal Computer

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

CVRD – Companhia Siderúrgica de Tubarão

SUMÁRIO

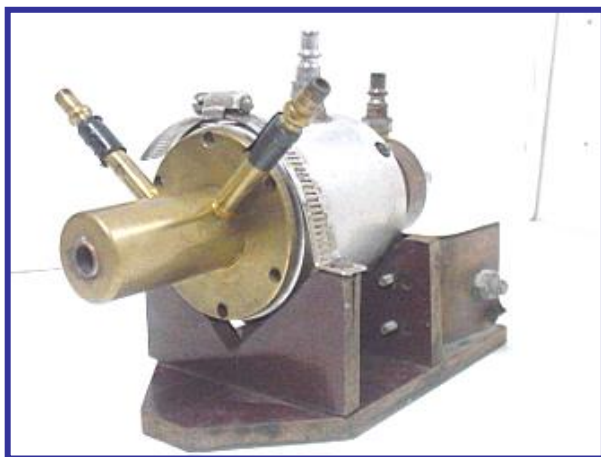
1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 CONCEITOS SOBRE PLASMA SPRAY E MAÇARICO DE PLASMA	9
1.2 O PROBLEMA DA MOVIMENTAÇÃO	13
1.3 MESA COM MOVIMENTOS AUTOMÁTICOS.....	13
1.4 OUTRO DISPOSITIVO	17
1.5 LIMITAÇÕES DE MOVIMENTO E A PROPOSTA DE UM NOVO EQUIPAMENTO	18
2 EQUIPAMENTO DE MOVIMENTAÇÃO VERTICAL.....	18
2.1 VISÃO GERAL SOBRE O EQUIPAMENTO E SEUS COMPONENTES.....	18
2.2 CITAÇÕES SOBRE O ACIONAMENTO	30
3 DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÕES.....	34
3.1 MENÇÃO AS SOLDAS.....	34
3.2 MENÇÃO AO DIMENSIONAMENTO	34
3.3 DIMENSIONAMENTO.....	35
4 POSSIBILIDADE DE APLICAÇÃO	76
5 CONCLUSÃO	78
6 REFERÊNCIAS	78

1 INTRODUÇÃO

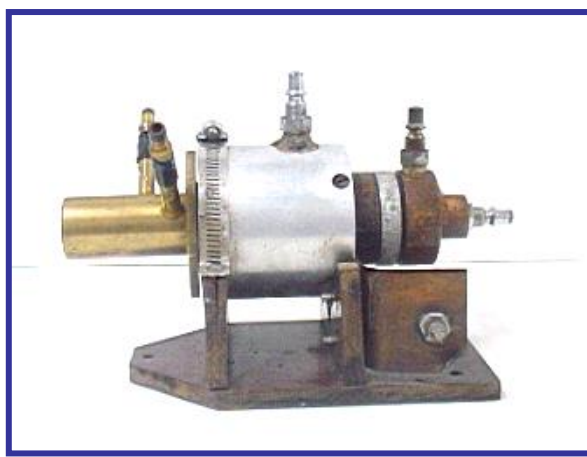
1.1 Conceitos sobre Plasma Spray e Maçarico de Plasma

No Laboratório de Plasma Térmico (LPT), situado nas dependências do Centro de Ciências Exatas (CCE) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), há o emprego de Maçarico de Plasma e da técnica de Plasma Spray para fazer deposição de materiais cerâmicos ou metálicos em superfícies de objetos. De acordo com as características do material de revestimento, as propriedades destes nas superfícies de tais objetos variam, dessa forma variando a aplicação destes últimos, como por exemplo, emprego em situações onde é necessária resistência à abrasão, corrosão, choques térmicos e altas temperaturas. Um exemplo prático é o revestimento da parte superior dos êmbolos da câmara de combustão de carros, visto que a explosão do combustível provoca desgaste no topo do êmbolo. Com o revestimento cerâmico adequado, o desgaste do êmbolo será sensivelmente reduzido.

O Maçarico de Plasma é um equipamento capaz de gerar jatos de plasma, que ocorrem pela passagem de corrente elétrica através de um meio gasoso ionizado, neste processo as temperaturas podem variar de 2.000 a 50.000 °C. No LPT, o Maçarico de Plasma utilizado, foi desenvolvido por Cunha, yyy, e construído pelos próprios funcionários do LPT. As Figuras 1, 2 e 3 mostram um dos maçaricos, outrora também chamado de canhão, projetado Cunha, 19xx.



**Figura 1 – Maçarico de Plasma
(Vista Isométrica)**



**Figura 2 – Maçarico de Plasma
(Vista Lateral)**



Figura 3 – Maçarico de Plasma (Vista Traseira)

Para que este maçarico funcione, são conectados a ele, vias de alimentação de água para resfriamento e dos gases que formarão o plasma, além dos cabos de corrente elétrica, conforme as Figuras 4 e 5, notando que esta última mostra o maçarico de plasma em sua parte traseira e as conexões de alimentação, já referidas.

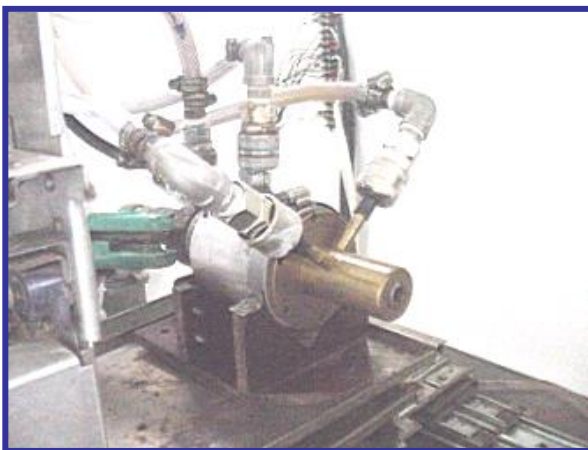


Figura 4 – Maçarico com Mangueiras de Alimentação Conectadas



Figura 5 – Maçarico com Mangueiras de Alimentação Conectadas (Vista Traseira)

A técnica Plasma Spray é feita com o uso de Maçarico Plasma, o processo é uma pulverização, de pó, caracterizada por alto fluxo de calor e alta velocidade de jato de plasma. O pó é o material de revestimento, durante a pulverização ele é retirado de um alimentador e soprado para a zona mais quente do fluxo de plasma, onde sofre um aquecimento muito rápido e ganha velocidade suficiente para ser lançado em direção a superfície da peça a ser tratada. O resultado será a fusão do pó de

revestimento com a superfície do objeto tratado. A Figura 7 mostra exemplos de peças onde foi feita a deposição de cerâmica.



Figura 7 – Peças Revestidas com cerâmica, Através da técnica de plasma spray.

Note na Figura 8, a diferença da parte sem cobertura da com revestimento cerâmico.



Figura 8 – Diferença entre a parte revestida com cerâmica e a não revestida.

Nas figuras 9, 10 e 11 estão mostrados alguns exemplos do maçarico de plasma em funcionamento.

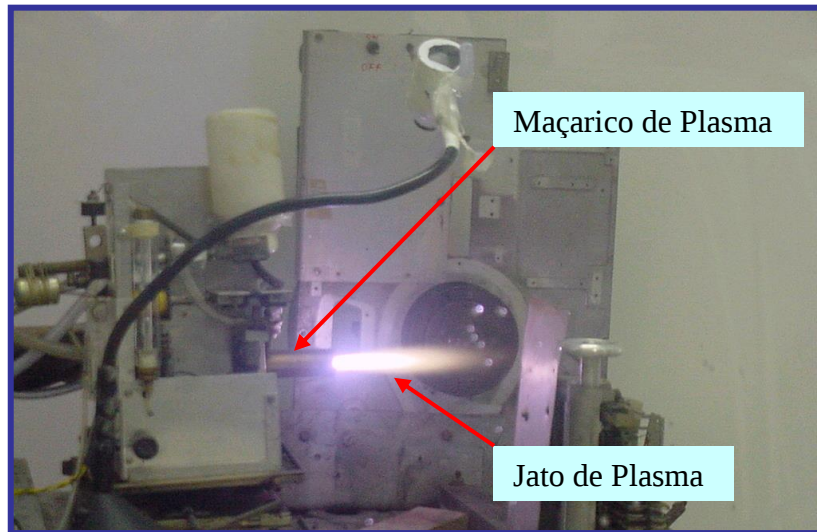


Figura 9 – Maçarico de Plasma Spray em funcionamento.

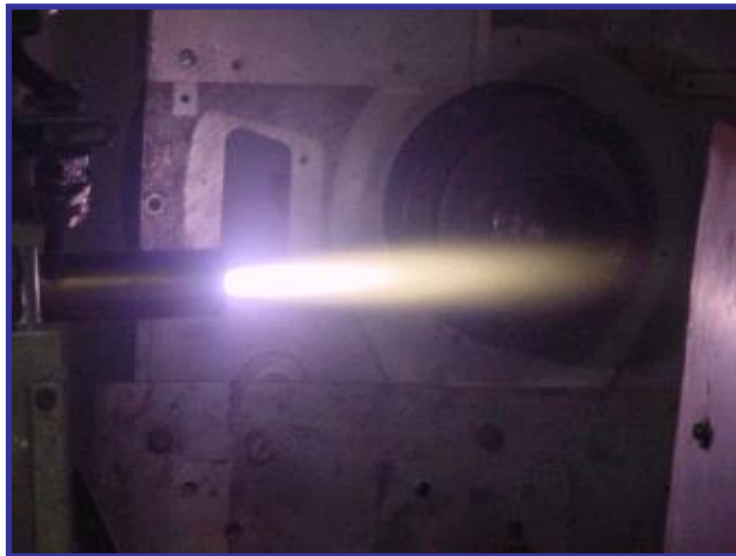


Figura 10 – Maçarico de Plasma Spray em funcionamento.



Figura 11 – Maçarico de Plasma Spray em funcionamento.

1.2 O Problema da Movimentação

Para realizar a deposição do revestimento em uma superfície, é necessário que a direção do jato de plasma seja deslocada de forma que este possa atingir todos os pontos da superfície. No LPT, num primeiro momento a única forma deslocar o maçarico de plasma era manualmente, ou seja, com este equipamento em funcionamento, uma pessoa devidamente protegida, movimentava o maçarico com as mãos. Esta é uma atividade muito perigosa, tanto que o recinto onde é feita a deposição fica fechado e evacuado, restando apenas a pessoa que fazia a movimentação.



Figura 12 – Movimentação Manual da Mesa do Maçarico.

A figura 12 ilustra uma ocasião em que o operador estava movimentando a mesa do maçarico de plasma, quando este estava em funcionamento. Nesta figura o maçarico não está à mostra, mas é possível ver a claridade que o jato de plasma estava produzindo.

1.3 Mesa com Movimentos Automáticos

Sanchotene, 2001, desenvolveu, uma mesa automatizada, que trabalha no plano horizontal com dois graus de liberdade, Figuras 13 e 14 , controlada através de um computador pessoal (PC), Figura 15.

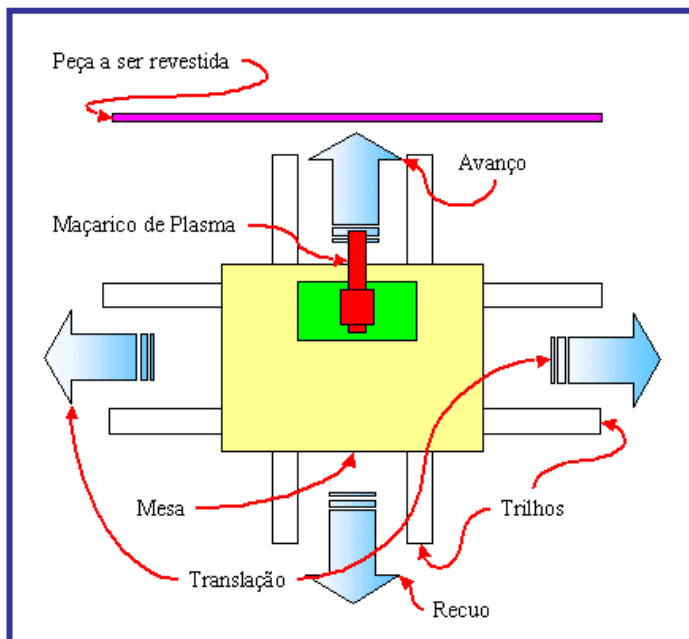


Figura 13 – Esquema de movimentação da Mesa Automatizada.



Figura 14 – Mesa Automatizada

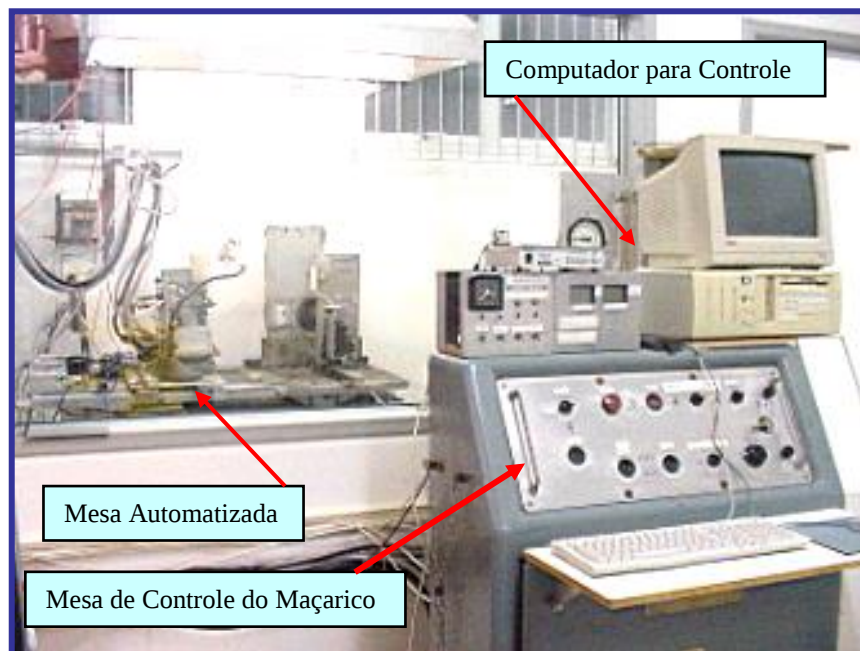


Figura 15 – Mesa de Controle do Maçarico e Computador de Controle da Mesa Automatizada

Conforme a Figura 13, a mesa automatizada promove o movimento do canhão, em relação à peça alvo, para frente e para trás, para a direita e para a esquerda, sem

que seja necessária uma pessoa para posicionar o maçarico, isto reduz o risco de acidentes.

A Figura 15, mostra a mesa automatizada, a sala de Plasma Spray do lado de fora (ambiente de controle).

Observação: Note a mesa de controle do Maçarico de Plasma e o computador que é usado no controle da mesa automatizada.

O movimento da mesa é acionado por motores de limpador de pára-brisa de automóveis e a posição é medida com auxílio de potenciômetros, Figura 16, que enviam a tensão respectiva da posição da mesa para uma placa de aquisição de dados, PCL-812PG (Figura 17).

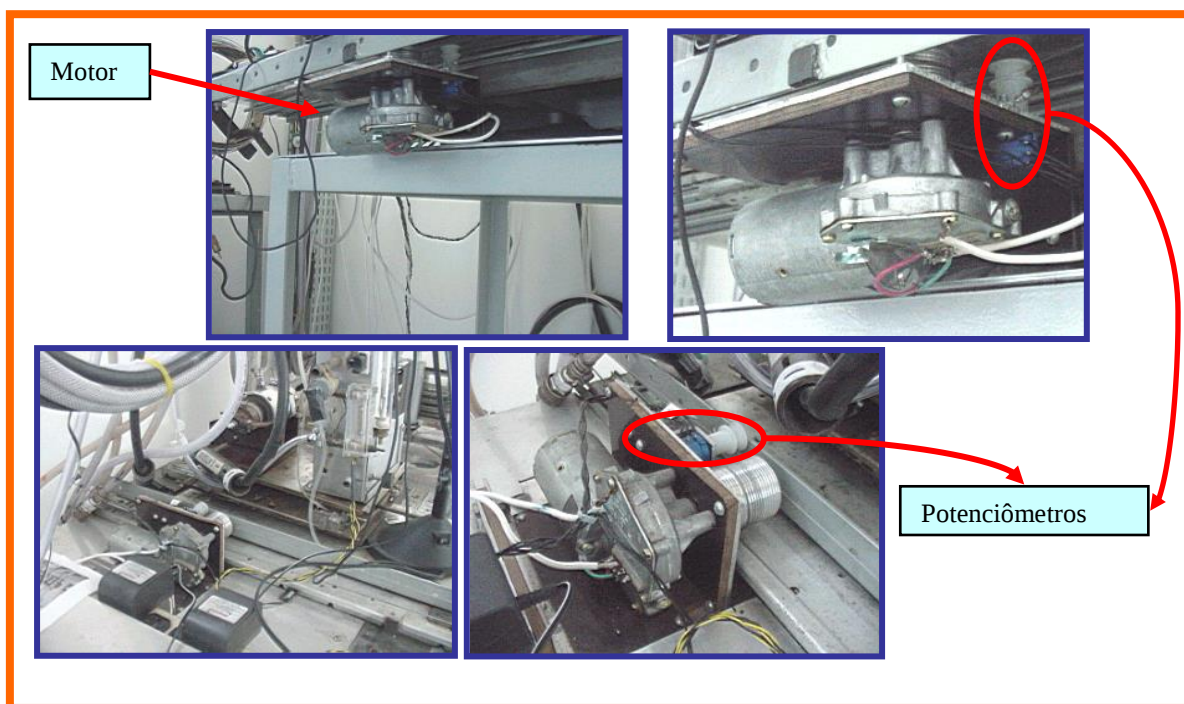


Figura 16 – Motores da Mesa Automatizada e Potenciômetros para sensoriamento de posição.



Figura 17 – Placa PCL-812PG

Esta placa é acoplada internamente ao PC, e tem a capacidade de adquirir e enviar dados analógicos e digitais (Advantech, 1996, p.1). Um programa foi desenvolvido para gerenciar os dados da posição adquiridos pela placa de aquisição e enviar sinais para uma placa externa, Figura 18, desenvolvida por Sanchotene, 2001, que amplifica esses sinais a níveis de tensão variáveis, capazes de fazerem os motores girarem com rotações de diferentes valores, de acordo com a necessidade da operação (Sanchotene, 2001, p.10).



Figura 18 – Placa Amplificadora para acionamento dos motores da mesa automatizada.

O programa que gerencia o movimento da mesa, foi construído no ambiente C++ Builder, versão 5.0 (Borland), e seu código fonte está disponível no LPT. Neste programa, o usuário pode definir a velocidade e limites da translação.

1.4 Outro Dispositivo

Um outro dispositivo utilizado para o processo de deposição, é mostrado nas Figuras 19 e 20, que permite a rotação de um pequeno tarugo. O movimento de rotação, neste equipamento é motorizado. Com a utilização deste dispositivo, é possível fazer a operação de revestimento em pequenas peças simétricas.



Figura 19 – Dispositivo para rotação de peças simétricas pequenas.

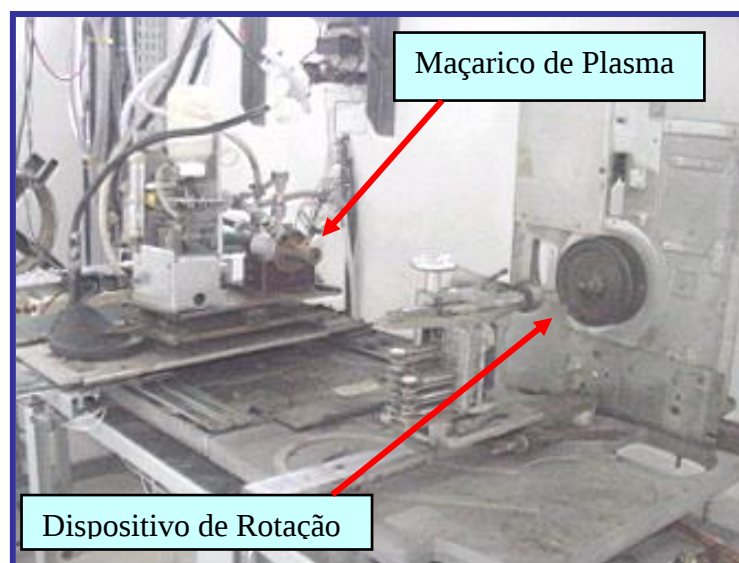


Figura 20 – Dispositivo de rotação posicionado em frente ao Maçarico de Plasma.

1.5 Limitações de Movimento e a Proposta de Um Novo Equipamento

Considerando os dispositivos de movimentação relacionados até este ponto do texto, é possível notar que há uma certa limitação de movimentação, portando não é possível, pelo menos de maneira prática, fazer revestimento em superfícies maiores como uma placa, por exemplo, devido ao fato do movimento da mesa automatizada, ser de translação, avanço e recuo.

Almejando fazer revestimentos em superfícies maiores surgiu a proposta de construir um equipamento que pudesse movimentar verticalmente o objeto alvo, onde seria feita a deposição, e que este movimento vertical deveria ser automatizado e atuasse em conjunto com a movimentação horizontal da mesa automatizada.

Este trabalho acadêmico consiste no desenvolvimento e dimensionamento da parte mecânica deste equipamento de movimentação vertical, bem como é feita a proposta do acionamento elétrico e a metodologia algorítmica do programa que irá gerenciar os movimentos desse equipamento em conjunto com os da mesa automatizada.

2 EQUIPAMENTO DE MOVIMENTAÇÃO VERTICAL

2.1 Visão Geral Sobre o Equipamento e Seus Componentes

A Figura 21 mostra equipamento de movimentação vertical construído no ambiente de CAD (Computer Assisted Design) usando o programa Mechanical Desktop Power Pack, versão 5 (Autodesk, 2000).

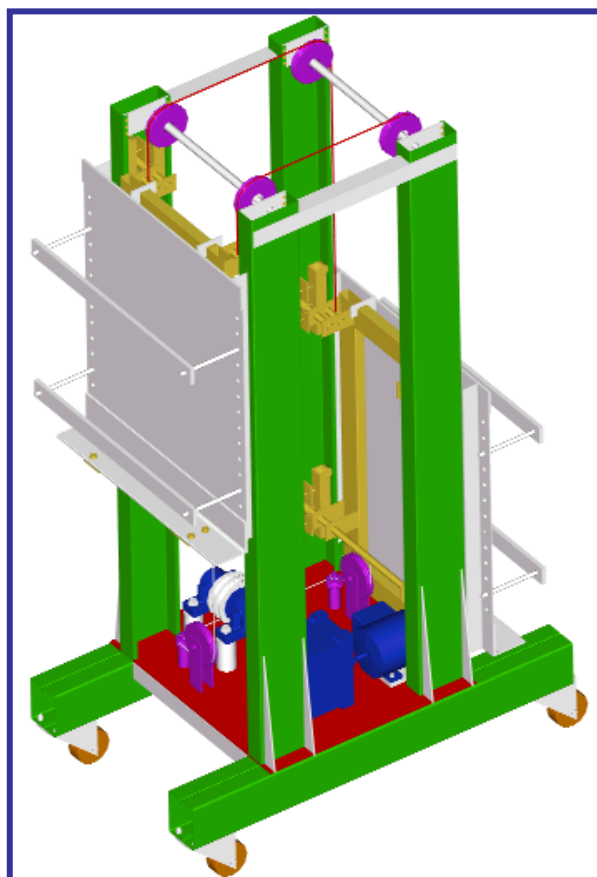


Figura 21 – Equipamento de Movimentação Vertical construído em Ambiente CAD.

É um equipamento de 71,6 centímetros de largura por 120,0 centímetros, 2 metros e 6 centímetros de altura, com um peso aproximado de 281,9kg. Sua capacidade de carga é de 150kg, isto é, a peça a ser revestida pode ter o peso de até 150kg.

Observação: As cores utilizadas na Figura 21 não representam exatamente as cores que o equipamento será pintado, ou mesmo a cor natural da material dos elementos constituintes. Essas cores foram colocadas dessa forma para dar contraste entre as peças do equipamento no desenho em 3D (três dimensões).

Na Figura 22 estão indicados os nomes das parte principais dos componentes do equipamento. Logo após, estarão descritos, para cada componente indicado, a atuação deles no equipamento.

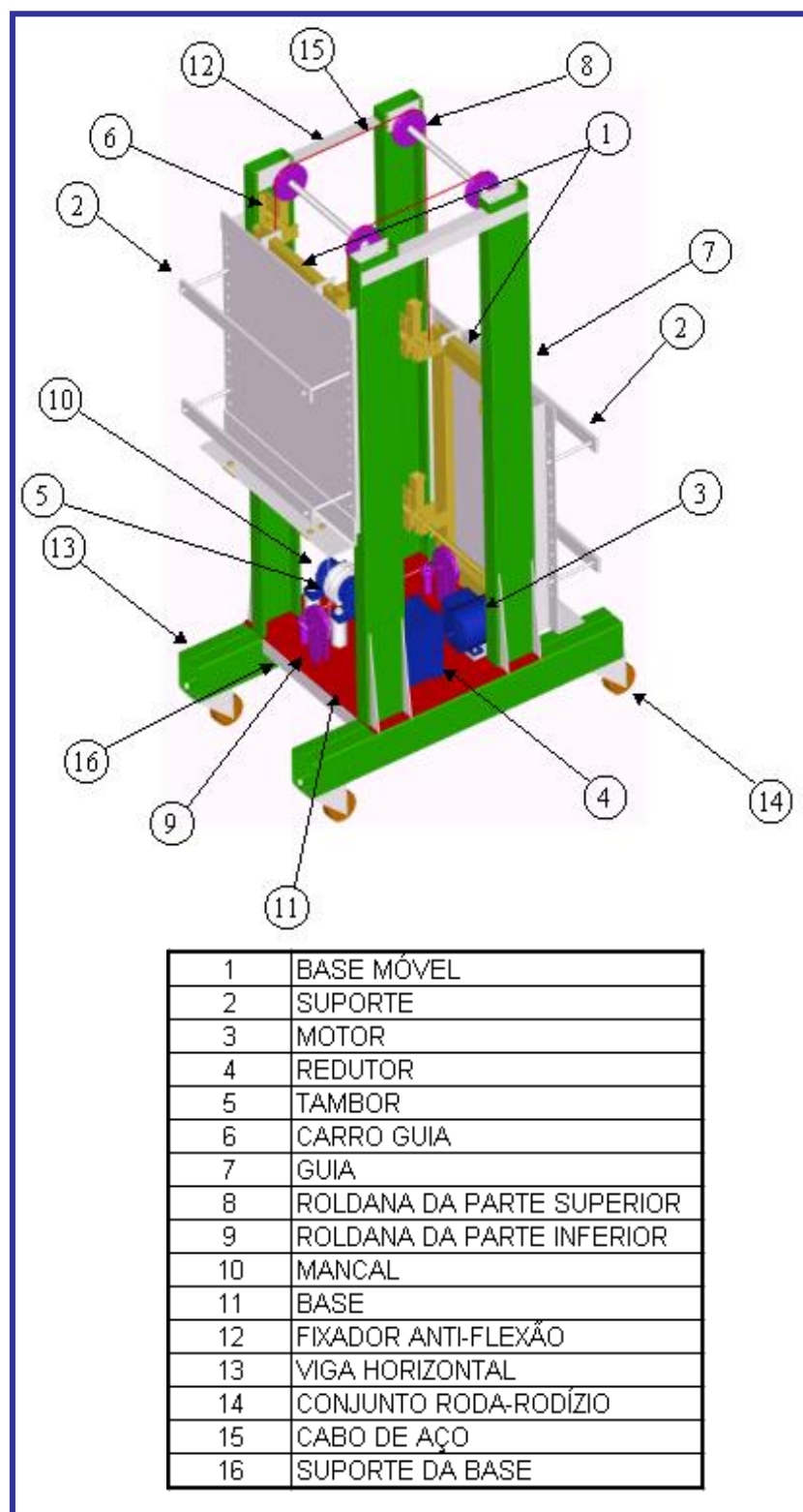


Figura 22 – Lista dos principais componentes do Equipamento de Movimentação Vertical.

Bases Móveis

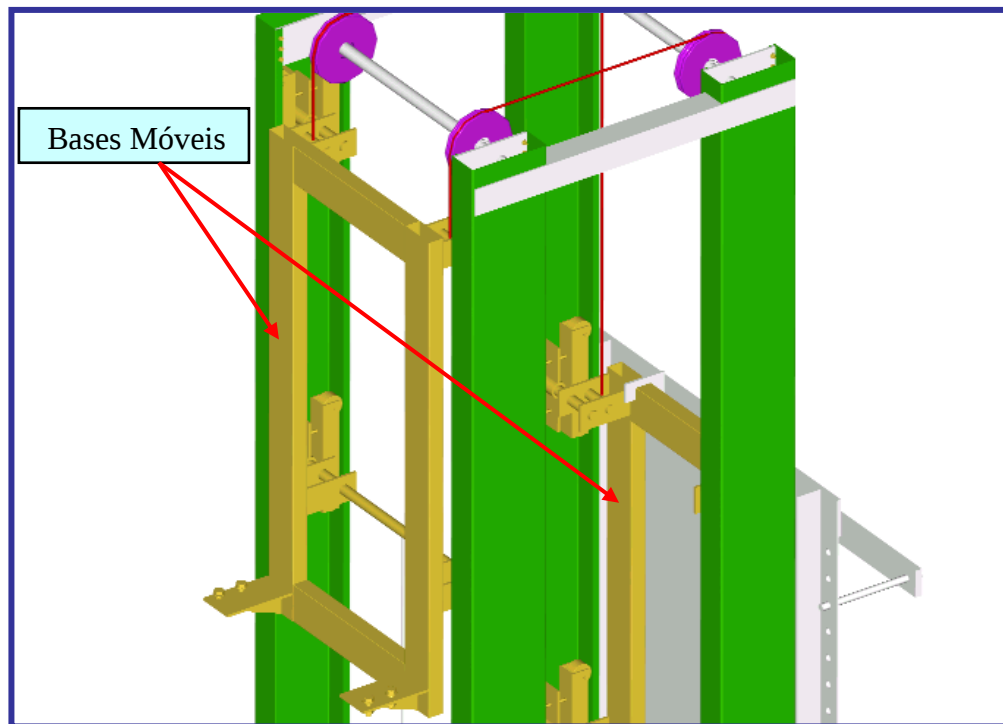


Figura 23 – Bases Móveis

Conforme indicado nas Figuras 22 e 23, o equipamento possui duas bases móveis, uma destinada portar o suporte para as peças a serem revestidas, e outra para o suporte que segura os contra-pesos. Note que na Figura 23, em uma das bases móveis, não está mostrado o suporte, isto foi feito para que se obtivesse uma visualização mais abrangente da geometria destas bases. O uso de contra-pesos é justificado para contra-balancear o peso da peça que será revestida, reduzindo assim os esforços sobre o motor de acionamento.

Suportes

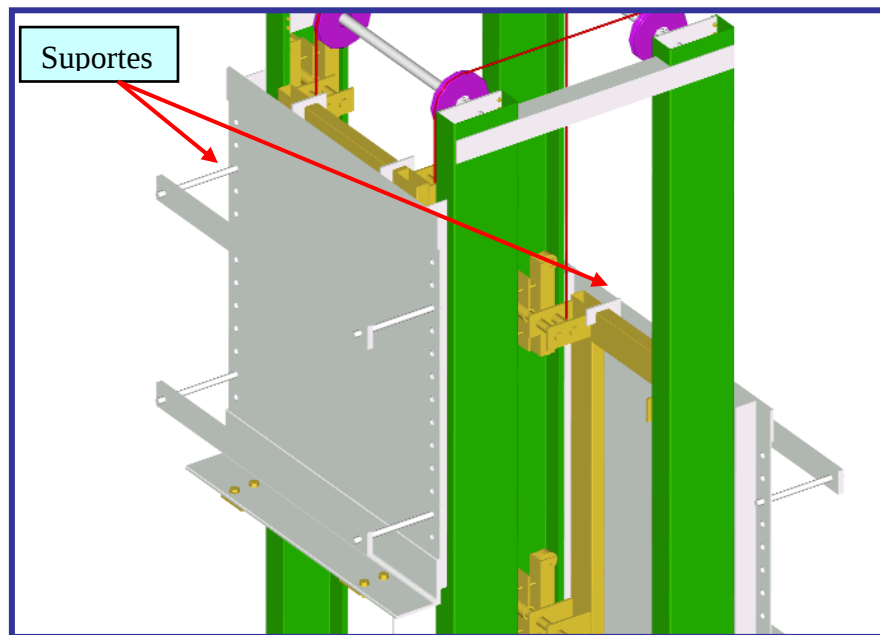


Figura 24 – Suportes fixados nas Bases Móveis

São fixados nas bases móveis, Figura 24, foram concebidos de forma tal que neles possam ser fixadas peças com geometrias variadas. Além da função de fixar peças, os suportes também têm a função de servir como escudo protetor das outras partes do equipamento contra o ataque do jato de plasma. Os suportes podem ser retirados das bases móveis quando estes estiverem desgastados por causa do jato de plasma, ou mesmo quando houver a necessidade de ser fixada uma peça cuja geometria impede que ela seja fixada neles, sendo assim um novo suporte deve ser desenhado para que atenda a necessidades da peça em questão e do equipamento também.

Conjunto Motor Redutor Tambor

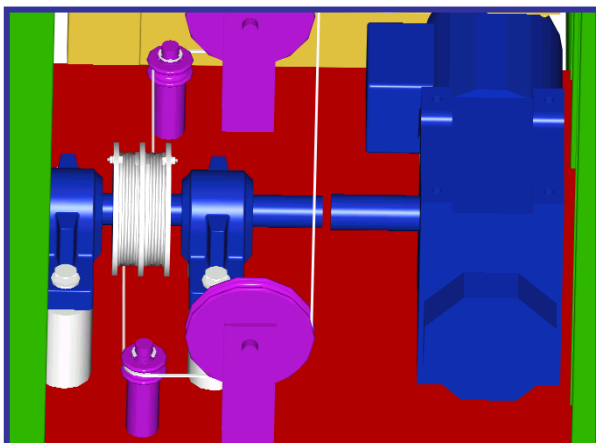


Figura 25 – Conjunto Motor Redutor Tambor

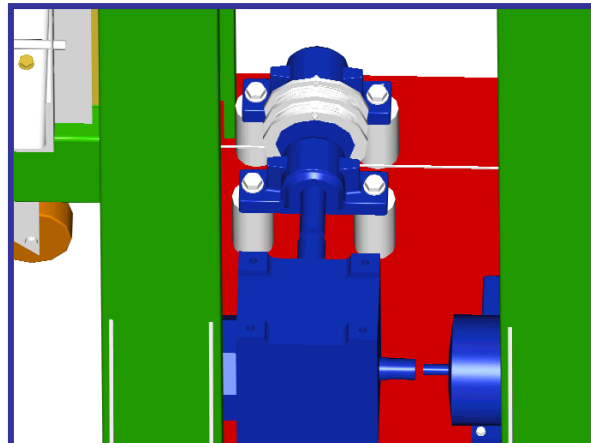


Figura 26 – Conjunto Motor Reduto Tambor

O motor elétrico de indução, Figuras 27 e 28, devidamente alimentado pela rede elétrica, aciona o redutor coroa sem-fim, Figuras 29 e 30, que por sua vez gira o eixo que está acoplado ao tambor. O tambor, em destaque na Figura 31 é o elemento que acomoda, enrolando ou desenrolando os cabos de aço, que nele são fixados. É importante notar que neste sistema, quando um cabo de aço está sendo enrolado, ou outro está sendo desenrolado.



Figura 27 – Motor elétrico

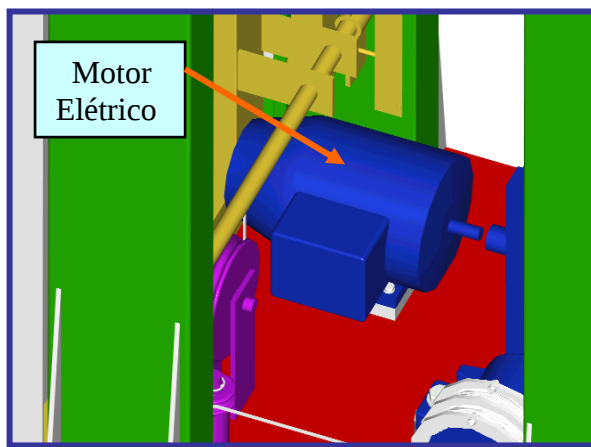


Figura 28 – Motor elétrico fixado no equipamento de movimentação vertical.



Figura 29 – Redutor Coroa Sem-fim

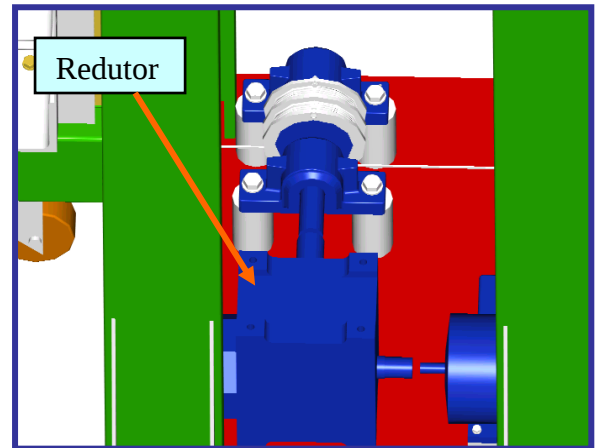


Figura 30 – Redutor fixado no equipamento de movimentação vertical.

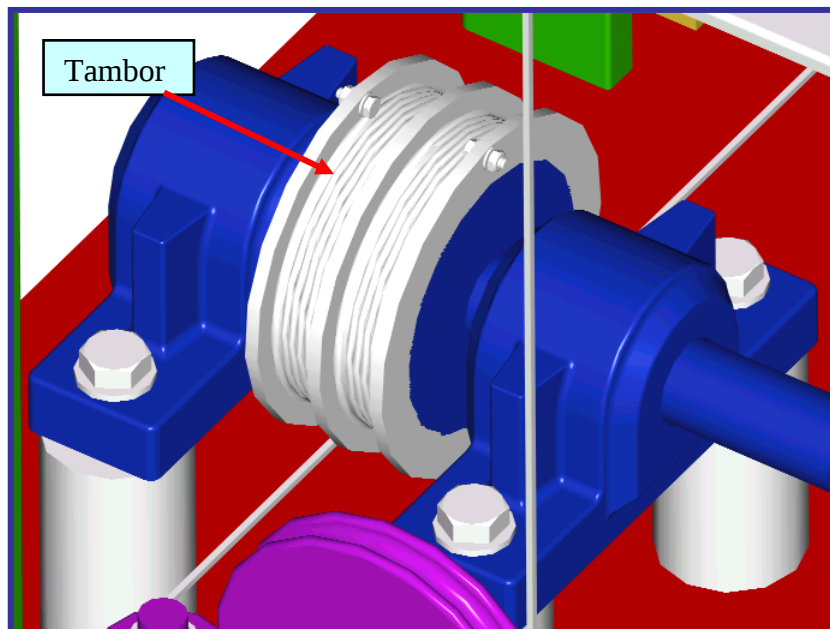


Figura 31 – Tambor para os cabos de aço.

Acoplamentos Elásticos



Figura 32 – Acoplamentos Elásticos

Estes acoplamentos não estão no desenho 3D do equipamento, porém eles podem ser visualizados na Figura 32. Eles fazem a junção entre o eixo do motor com o eixo de entrada do redutor, e entre o eixo de saída deste mesmo redutor com o eixo do tambor. Por serem elásticos, haverá uma redução de choques mecânicos causados pela variação de velocidade do motor elétrico.

Cabos de Aço

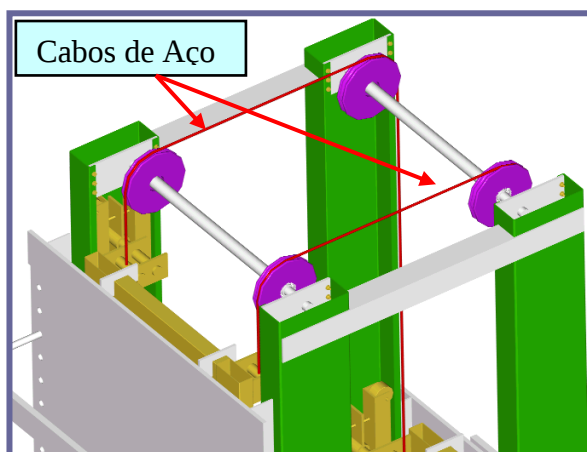


Figura 33 – Cabos de Aço da parte superior do equipamento de movimentação vertical.

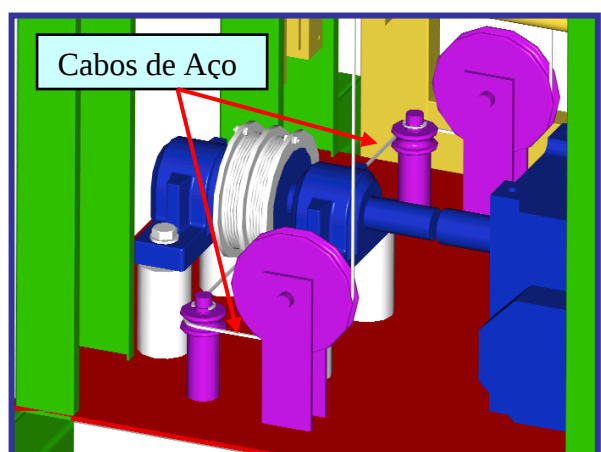


Figura 34 – Cabos de Aços da parte inferior do equipamento de movimentação vertical.

São quatro ao total. Dois deles fazem a ligação entre o tambor e as bases móveis (Figura 34), os outros dois fazem a ligação das bases móveis com o tambor

enrolador (Figura 35). Quando o tambor é acionado, o cabo é enrolado, puxando uma das bases móveis, que por sua vez, através de sua conexão com a outra base, a puxará. Esta última puxa o cabo de aço que está sendo desenrolado, completando, dessa maneira, um ciclo.

Carros Guia

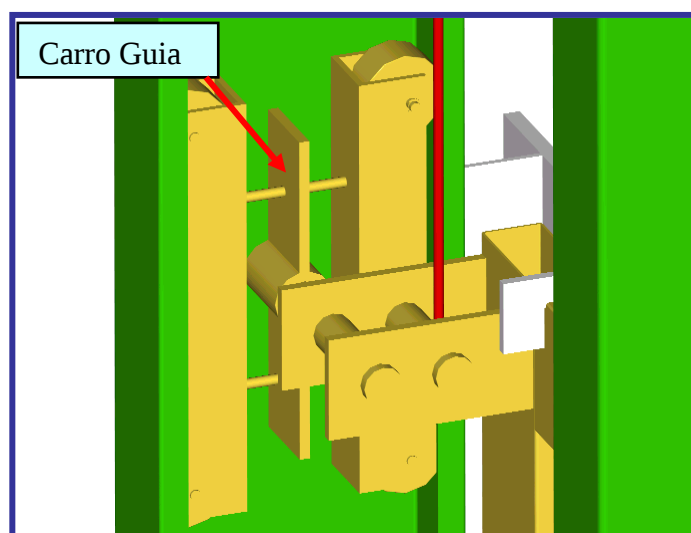


Figura 35 – Carro Guia

Cada base móvel possui quatro carros guia. Eles tem a função de manter a base dentro da guia e reduzir oscilações.

Guias

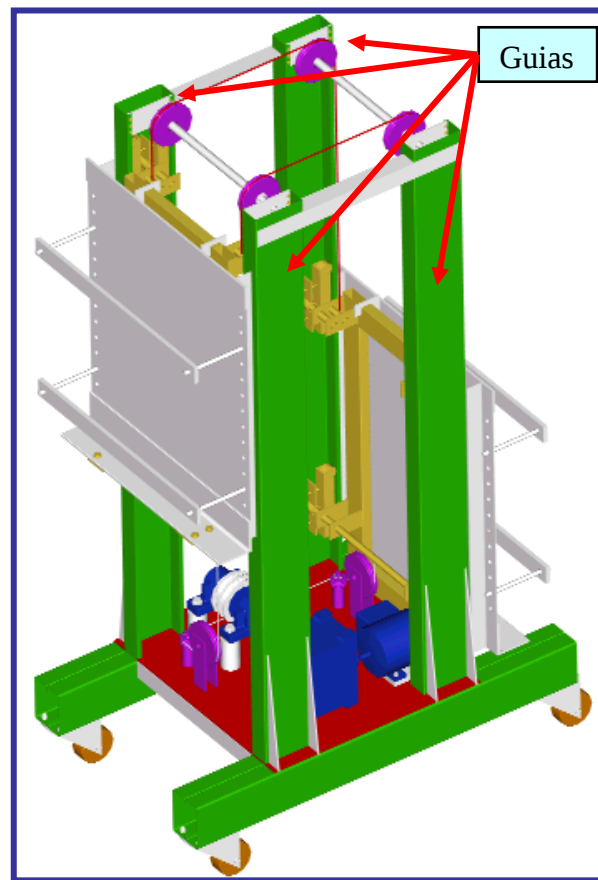


Figura 36 - Guias

As guias são os elementos que comportam os carros guia, cada base móvel possui duas guias. Sua função principal é de servir como trilhos verticais para as bases móveis.

Roldanas

São os elementos que direcionam os cabos de aço. Conforme as Figuras 34 e 35, elementos em roxo, existem quatro roldanas na parte inferior do equipamento de movimentação vertical, e outras quatro na parte superior.

Mancais

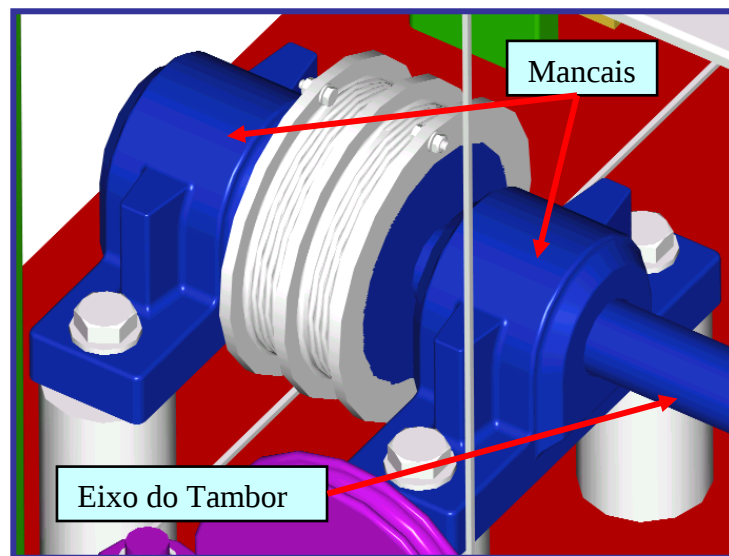


Figura 37 – Mancais para o eixo do tambor.

São dois, eles servem de apoio para o eixo do tambor.

Base

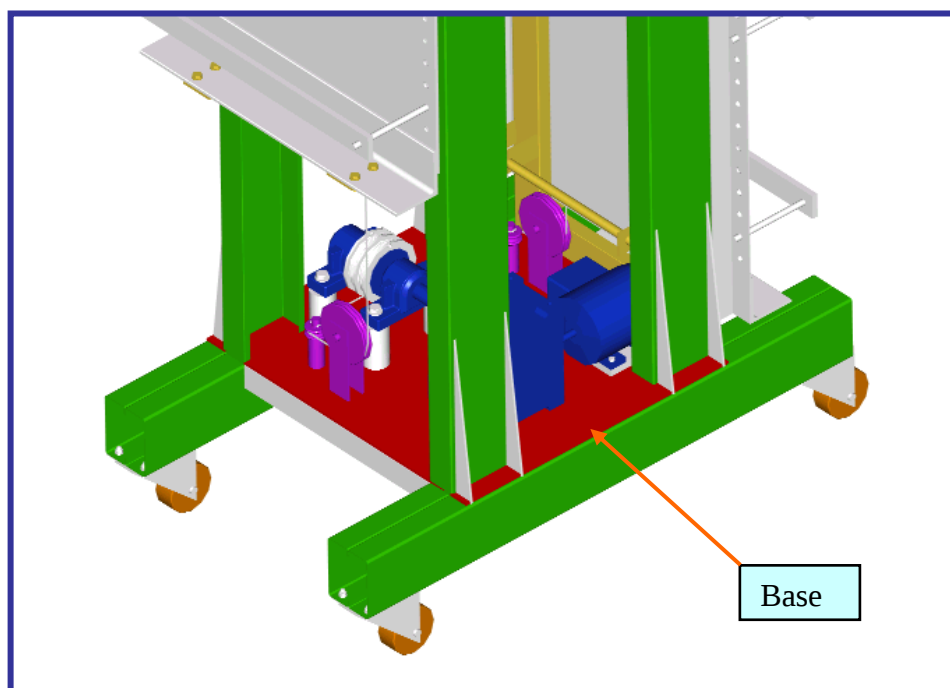


Figura 38 – Base do Equipamento de Movimentação Vertical

É neste elemento, que estão fixados o conjunto motor redutor tambor, os mancais do tambor e as roldanas da parte inferior.

Fixadores Anti-Flexão

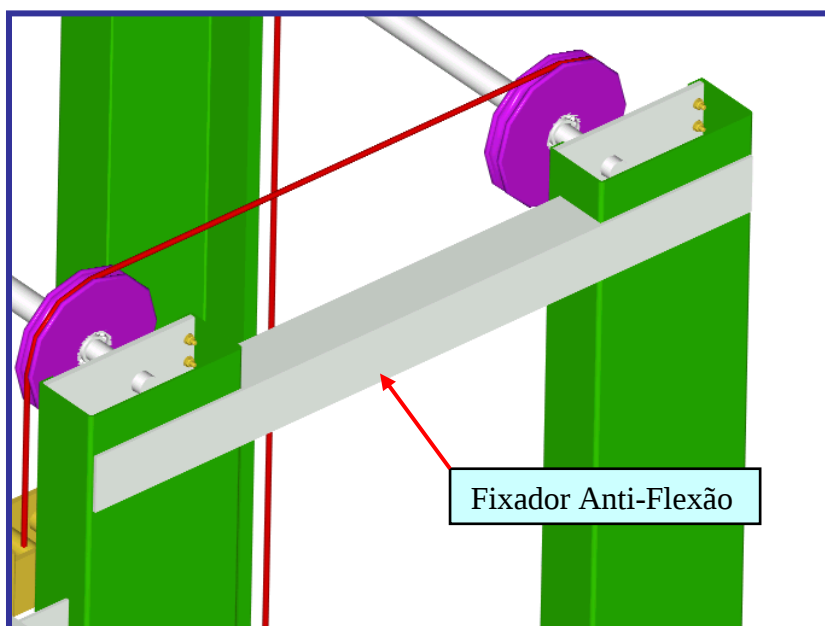


Figura 39 – Fixadores Anti-Flexão

A função deste elemento é evitar que as forças que tendem a flexionar as guias, forcem soldas destas com a base. Explicando mais detalhadamente, a força que atua nas roldanas da parte superior do equipamento de movimentação vertical tende a flexionar as guias, que tem seu ponto de fixação as soldas de sua extremidade inferior com a base. Para que estas soldas não sejam forçadas demasiadamente, os fixadores anti-flexão são soldados à extremidade superior dessas guias, diminuindo assim a flexão das soldas das guias com a base.

Vigas Horizontais

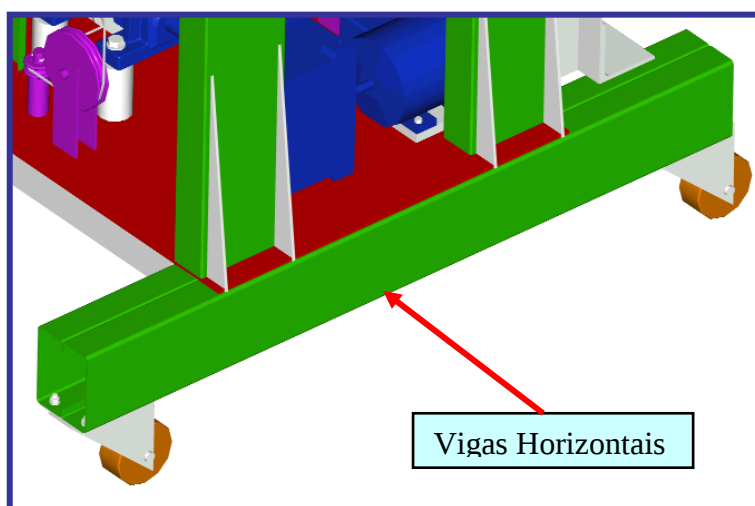


Figura 40 – Vigas Horizontais

São longarinas que suportam do o peso do equipamento, fora as rodas com rodízios.

Rodas com Rodízios

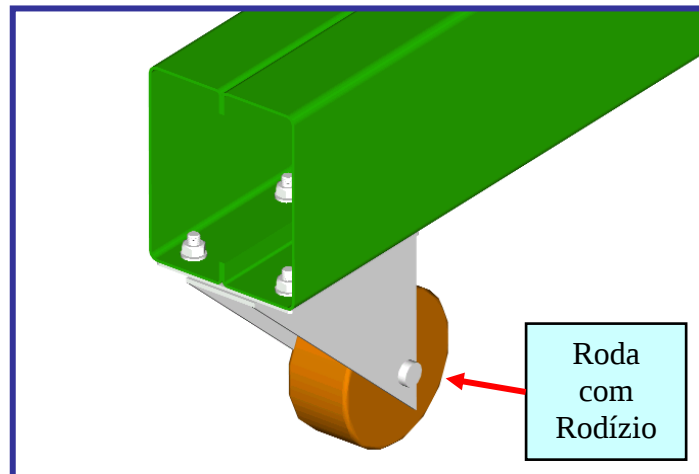


Figura 41 – Rodas com Rodízios

São responsáveis por permitir a mobilidade, ou seja, o deslocado do equipamento de movimentação vertical. Dois destes conjuntos rodas com rodízios possuem freios.

2.2 Citações Sobre o Acionamento

Acionamento

Após a apresentação dos elementos que compõe o movimentador, se percebe que o acionamento deste é feito através do acionamento de motor elétrico. Este motor não é ligado diretamente à rede elétrica, primeiro ele é ligado a um *inversor de frequência* (Figura 42), que é um dispositivo eletro-eletrônico, o qual tem a capacidade de variar a velocidade de rotação do motor elétrico de indução. Daí este dispositivo é ligado à rede elétrica.



Figura 42 – Inversor de Freqüência

O inversor de freqüência a ser utilizado é da marca WEG, e seu modelo é CFW-08, série μ line. Este dispositivo pode ser programado segundo diversos parâmetros, como por exemplo, quando a corrente que é transmitida ao motor é demasiadamente alta durante muito tempo, ele pode ser programado para reduzir esta corrente, ou desligar o motor. A lista de todos os parâmetros de programação está no manual do fabricante (WEG, 2001).

O acionamento do inversor pode ser feita tanto através da IHM (Interface Homem Máquina) como também através dos 12 bornes que se encontram na parte frontal deste dispositivo. A função de cada borne pode ser programada, segundo algumas limitações. Um exemplo é a programação do borne 1 para ligar o motor (WEG, 2001, p.30). As informações detalhadas são encontradas no manual do fabricante.

É através destes bornes que automação vai dar continuidade, uma vez que o programa que irá gerenciar os movimentos, será executado pelo PC, o qual transmitirá as informações para a placa PLC-812PG e esta transmitirá sinais para uma placa de circuito eletrônico, a ser desenvolvido, que por sua vez acionará os bornes.

O inversor não será fixado ao equipamento de movimentação vertical, ele será fixado no recinto onde o equipamento irá operar, ou seja na sala de Plasma Spray do LPT.

Deverá ser construída uma proteção para o inversor, devido ao fato que ele vai trabalhar em um ambiente que se torna agressivo quando o maçarico está em operação. A sugestão de proteção está detalhada no manual do fabricante (WEG, 2001, p.21).

Placa de Circuito Eletrônico

Esta placa de circuito eletrônico, será desenvolvida pelos estudantes de Engenharia Elétrica da UFES que trabalham nas dependências do LPT. A função desta placa será de servir como intermediária entre o Inversor de Frequência e a placa PLC-812PG, com intuito de proteger esta placa contra flutuações de corrente indesejáveis que possam vir a danificar a PLC-812PG, que é um item de alto custo.

Sensor de Posição e Movimento

A posição e a velocidade com que as bases móveis estão se deslocando será feita com um sensor indutivo, que é capaz de detectar a presença (ou não) de um objeto metálico quando estiver a uma determinada distância da sua face. Seu princípio de funcionamento é baseado na geração de um campo eletromagnético de alta frequência, que é desenvolvido por uma bobina ressonante instalada na face sensora (Figura 43).

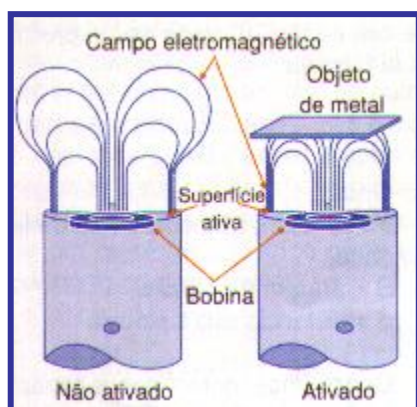


Figura 43 – Esquema de funcionamento de um sensor indutivo.



Figura 44 – Exemplo de uso do sensor indutivo

A bobina faz parte de um circuito oscilador, que em condição normal (não acionada), gera um sinal senoidal. Quando um metal se aproxima do campo, esta através da corrente de superfície absorve energia, reduzindo a amplitude do sinal gerado no oscilador. Esta variação do valor original é então detectada e aciona o estágio de saída. Na Figura 45, está exemplificado um exemplo real de sensor indutivo.



Figura 45 – Sensor Indutivo



Figura 46 – Coroa de bicicleta que será usada com o sensor indutivo.

Em um dos eixos que rotacionam, do movimentador vertical, será acoplada uma coroa de bicicleta (Figura 46), e direcionado aos dentes estará o sensor indutivo, como esquematizado na Figura 44, assim à medida que a coroa gira. Com a ajuda do circuito oscilador acoplado a este sensor, será possível saber o estado de movimento da base móvel, podendo estimar sua posição e velocidade.

Metodologia Algorítmica Para o Programa de Acionamento

O Programa de acionamento do equipamento de movimentação vertical em conjunto com o movimento da mesa automatizada será uma implementação do programa já existente que controla a mesa automatizada.

Deverá haver um modo de acionamento, em que o usuário acione o equipamento de movimentação vertical de forma “manual”. Por exemplo, se o usuário apertar a tecla *Page Up* do teclado do PC, a base móvel que comporta o suporte da peça a ser revestida, será elevada, e quando o usuário soltar a tecla, a base móvel irá parar.

Outro modo de acionamento será o automático coordenado com o movimento da mesa móvel, por exemplo, quando o jato de plasma percorrer horizontalmente a peça, ou seja, deu um passe, a peça em questão será elevada 10mm, e então a base móvel retorna o jato de plasma para sua posição de origem, dando mais um passe de revestimento sobre a peça, então novamente esta peça seria elevada 10mm.

3 DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÕES

3.1 Menção as Soldas

Todas as soldas estão dimensionadas tendo como referência, o uso do eletrodo AWS E6013. Segundo Shigley (1984, p. 361) os eletrodos de designação E 60xx, possuem as seguintes propriedades:

- Tensão de ruptura = 427,20 MPa;
- Tensão de escoamento = 344,52 MPa; e
- Alongamento percentual = 17 a 25%.

As soldas dimensionadas neste projeto, que estiverem sob tensão, de valor abaixo da tensão de escoamento do eletrodo designado, serão consideradas corretamente dimensionadas.

3.2 Menção ao Dimensionamento

É coerente fazer algumas considerações quanto às condições de operação do equipamento de movimentação vertical. De acordo com a rotina de atividades do LPT, este equipamento irá ser usado com uma frequência muito baixa, da ordem de 1 vez por mês, e o tempo de utilização é muito pouco, uma vez que o equipamento for acionado, ele poderá funcionar durante 15 minutos ou menos.

Empregando estas considerações defini-se o equipamento como estático, o coeficiente de segurança K , para um dispositivo estático é 2.

O procedimento de cálculos foi feito da forma, tendo a disposição ferragens com medidas pré-definidas, estas ferragens passam pelo cálculo de resistência mecânica e se elas poderem suportar as cargas, então elas são incorporadas a projeto, gerando assim as medidas reais do equipamento.

3.3 Dimensionamento

MOTOR ELÉTRICO



Figura 47 – Motor Elétrico

Dados referentes ao motor elétrico incorporado ao projeto:

- Marca: WEG;
- Tipo: Motor de Indução;
- Rotor: Rotor de Gaiola;
- Número de série: GD84706 ;
- Massa: 10.6 Kg;
- Rendimento: 77%;
- Rotação: 3425 rpm; e
- Potência: 1 CV.

Quadro 1

Cálculo do torque proporcionado no eixo de rotação do motor elétrico:

$$M = 716200 \times \eta_{ME} \times \frac{N}{n} \times 9,81 \text{ [N}\cdot\text{mm]}$$

$$M = 716200 \times 0,77 \times \frac{1}{3425} \times 9,81$$

$$M = 1579,550 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

ou

$$M = 1,580 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Sendo:

- $M \rightarrow$ torque produzido pelo motor elétrico;
- $\eta_{ME} = 0,77 \rightarrow$ rendimento do motor elétrico;
- $N = 1\text{CV} \rightarrow$ potência do motor; e
- $n = 3425 \text{ rpm} \rightarrow$ rotação nominal.

Quadro 2

REDUTOR



Figura 48 – Redutor Coroa Sem-Fim

O redutor, a ser utilizado para a construção do projeto, é do tipo “coroa e sem fim” (Shigley, 1984, p.513) com saída única.

Dados referentes ao redutor incorporado ao projeto:

- Massa: 20Kg;
- Tipo: coroa e sem fim; e

Cálculo do torque adquirido na saída do redutor, com base no torque provido pelo motor elétrico (considerando o rendimento do redutor coroa sem-fim igual a 90%):

$$M = \frac{1,580 \times \eta_R}{i} = \frac{1,580 \times 0,90}{1/50}$$

$$M = 71,1 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Sendo:

- $M \rightarrow$ torque produzido na saída do redutor;
- $\eta_R = 0,90 \rightarrow$ rendimento do redutor; e
- $i=1:50 \rightarrow$ redução do redutor.

Quadro 3

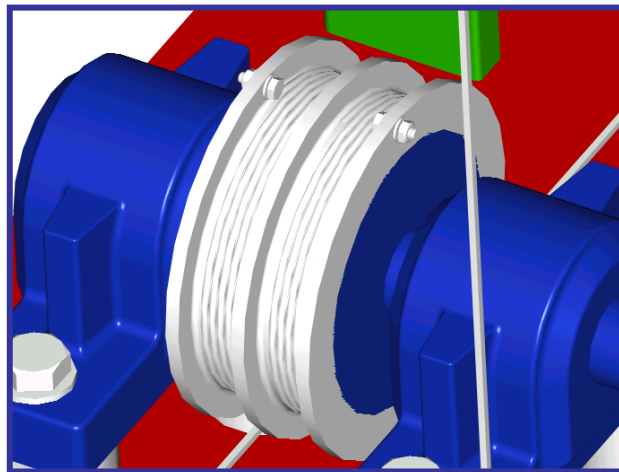


Figura 49 - Tambor

O tambor (Figura 49) cuja função é alojar, enrolar e desenrolar o cabo de aço, é constituído de quatro peças unidas entre si por cordões de solda. As quatro peças são: Um Cilindro; Dois tampos; e Um eixo.

A Figura 50 mostra três das peças disponíveis na oficina do LPT para a fabricação do referido tambor.



Figura 50 – Peças para a construção do tambor.

Material: Todas as peças que constituem o tambor, inclusive o eixo, são feitas do material American Iron and Steel Institute (AISI) 1020.

Cálculo da força transmitida aos cabos de aço que possuem ligação com o tambor, o equacionamento será feito com base no torque transmitido pelo redutor.

$$F = \frac{M}{d} = \frac{71.1}{0,112}$$

$$F = 634,82 \text{ N}$$

Sendo:

- $F \rightarrow$ força que traciona o cabo de aço;
- $M \rightarrow$ torque produzido na saída do redutor; e
- $d \rightarrow$ diâmetro da calha, que aloja o cabo de aço, do tambor.

Quadro 4

Cálculo da resistência do parafuso que fixa o cabo de aço ao tambor:

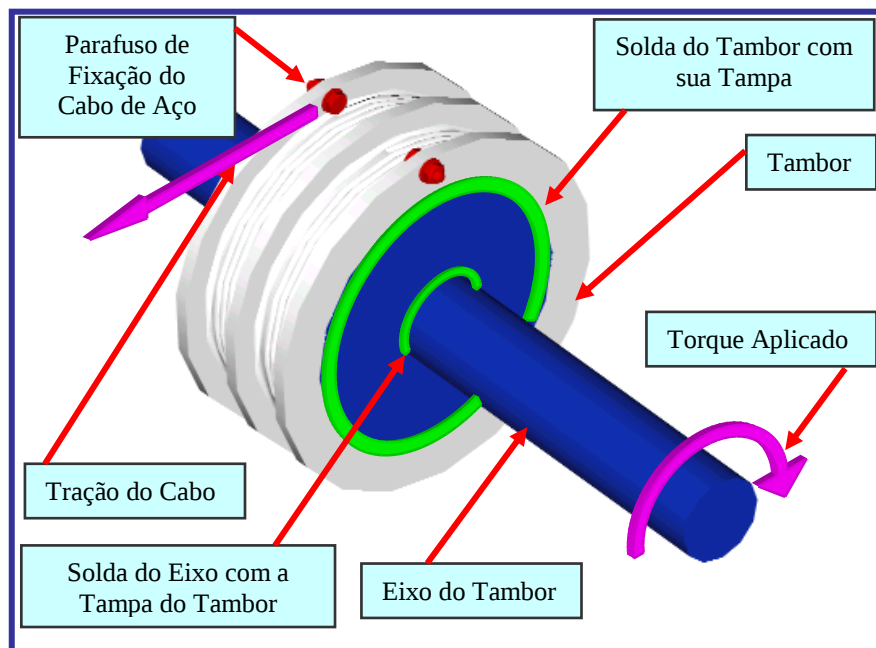


Figura 51 – Diagrama de forças e momentos que atuam sobre o tambor e o cabo de aço.

Segundo a figura 51 se pode fazer o seguinte esquema (figura 52) abaixo:

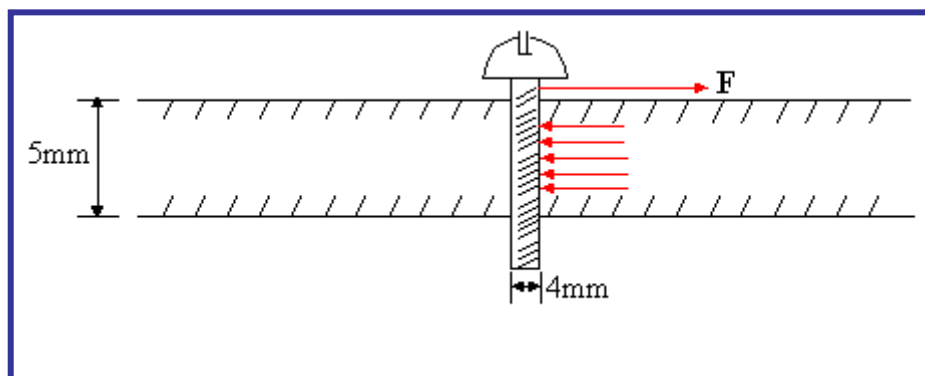


Figura 52 – Esquema da força de tração do cabo de aço sobre o parafuso que o fixa no tambor.

ESQUEMA

Deste esquema se pode afirmar que os esforços sobre o parafuso são predominantemente de cisalhamento e compressão, então:

Quanto ao esforço de cisalhamento:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{634,82}{\pi \times (4 \times 10^{-3} / 2)}$$
$$\tau = 50,517 \text{ Mpa}$$

Sendo:

- $\tau \rightarrow$ tensão de cisalhamento sobre o parafuso;
- $F \rightarrow$ força que tende a cisalhar o parafuso; e
- $d \rightarrow$ diâmetro da calha, que aloja o cabo de aço, do tambor.

Quadro 5

Sendo o parafuso previamente designado como: Parafuso sextavado 8.8 com rosca inteira - M4, suportará o esforço de cisalhamento.

E quanto ao esforço de compressão:

Observa-se no esquema acima (figura 52) pode ser assumido que há uma tensão de compressão entre o parafuso e a parede do tambor, e o valor dessa tensão é:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{634,82}{(5 \times 10^{-3}) \times (4 \times 10^{-3})}$$
$$\sigma = 31,741 \text{ Mpa}$$

Sendo:

- $\sigma \rightarrow$ tensão de compressão;
- $F \rightarrow$ força que tende a comprimir o parafuso contra o tambor; e
- $A \rightarrow$ área quadrilátera referente à compressão entre o parafuso e o tambor.

Quadro 6

Considerando o as propriedades do material de parafuso e do material do tambor, ambos suportarão essa carga de compressão.

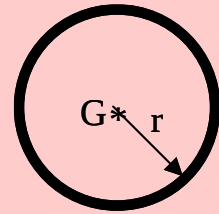
Cálculo da resistência das soldas de juntas dos tampos com o tambor:

No quadro 7, estão as fórmulas referentes às soldas circulares sujeitas ao esforço de torção:

Área de penetração $\rightarrow A = 1,414 \times \pi \times h \times r$

Momento de inércia polar unitário $\rightarrow J_U = 2 \times \pi \times r^3$

Momento de inércia polar $\rightarrow J = 0,707 \times h \times 2 \times \pi \times r^3$



Quadro 7

O raio da solda é:

$$r = \frac{87}{2} = 43,5 \text{ mm ou } 0,0435 \text{ m}$$

Por conseguinte calcula-se a área de contato da solda com o tampo e o tambor:

$$\begin{aligned} A &= 1,414 \times h \times r \\ A &= 1,414 \times 0,006 \times 0,0435 \\ A &= 3,691 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Em seguida se procede ao cálculo do momento de inércia unitário e o momento de inércia da solda:

$$\begin{aligned} J_u &= 2 \times \pi \times r = 2 \times \pi \times (43,5 \times 10^{-3})^3 \\ J_u &= 5,172 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J &= 0,707 \times h \times J_U \\ J &= 0,707 \times 0,006 \times 5,172 \times 10^{-4} \\ J &= 2,194 \times 10^{-6} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

O momento exercido sobre cada solda é a metade do valor do momento de saída do redutor, assim:

$$M = \frac{71,7}{2} = 35,85 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Finalmente dispõe-se de dados suficientes para o cálculo da tensão de cisalhamento sobre a solda de junta do tampo com o tambor:

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{M \times r}{J} \\ \tau &= \frac{35,85 \times 0,0435}{2,194 \times 10^{-6}} \\ \tau &= 0,711 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Dessa forma o esforço sobre a solda que junta cada tampo ao tambor suportará muito bem a carga imposta a elas.

Cálculo da resistência das soldas que unem o eixo aos tampos do tambor

Neste caso as soldas também estão sofrendo esforços de torção, dessa forma serão utilizadas as fórmulas citadas no Quadro 7.

O raio das soldas que unem o eixo ao tambor tem valor:

$$r = \frac{15,88}{2} = 7,94 \text{ mm ou } 0,00794\text{m}$$

Considerando-se apenas uma solda, se calcula a área de contato da solda com o eixo e o tampo:

$$\begin{aligned}A &= 1,414 \times h \times r \\ A &= 1,414 \times 0,006 \times 0,00794 \\ A &= 6,736 \times 10^{-5} \text{ m}^3\end{aligned}$$

Em seguida procede-se o cálculo do momento de inércia unitário e o momento de inércia da solda:

$$J_u = 2 \times \pi \times r = 2 \times \pi \times (0,00794)^3$$

$$J_u = 3,145 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$J = 0,707 \times h \times J_U$$

$$J = 0,707 \times 0,006 \times 3,145 \times 10^{-6}$$

$$J = 1,334 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

O momento exercido sobre cada solda é a metade do valor do momento de saída do redutor, assim:

$$M = \frac{71,7}{2} = 35,85 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Então se possuem de dados suficientes para o cálculo da tensão de cisalhamento sobre a solda de junta do eixo com o tampo:

$$\tau = \frac{M \times r}{J}$$

$$\tau = \frac{35,85 \times 0,00794}{1,334 \times 10^{-8}}$$

$$\tau = 21,338 \text{ Mpa}$$

TARUGOS DE APOIO AOS MANCAIS DO TAMBOR



Figura 53 - Mancal



Figura 54 – Mancal desmontado.

Os mancais que apóiam o eixo do tambor são suportados, cada um, por dois tarugos, conforme a figura 55, estes tarugos são soldados a base do sistema.

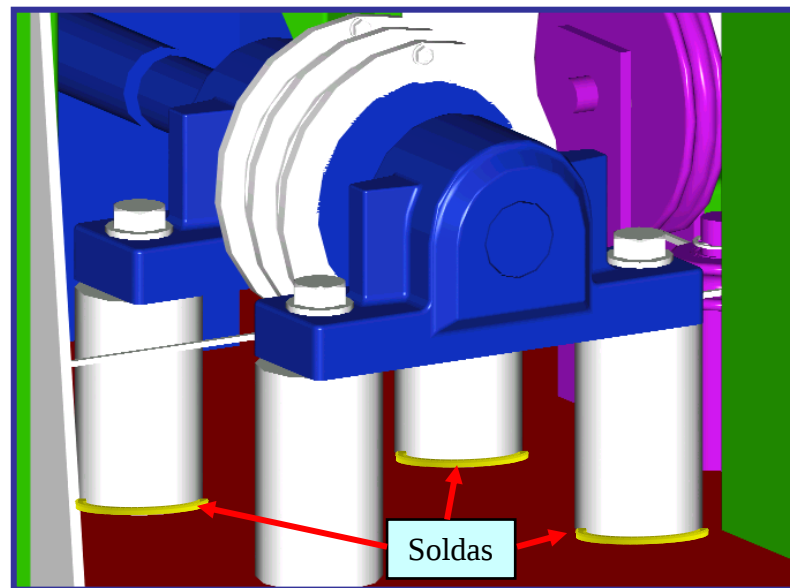


Figura 55 – Soldas da base dos tarugos sustentadores dos mancais.

É necessário que se faça o cálculo para se certificar quanto a resistência dessas soldas dos tarugos à base.

Em um primeiro momento é feito um esquema simplificado do sistema, Figura 56. Neste esquema, os apoios A e B representam, cada um, um dos mancais que apóiam o eixo do tambor. A força é F , é a aquela que traciona o cabo de aço, o qual está ligado ao tambor.

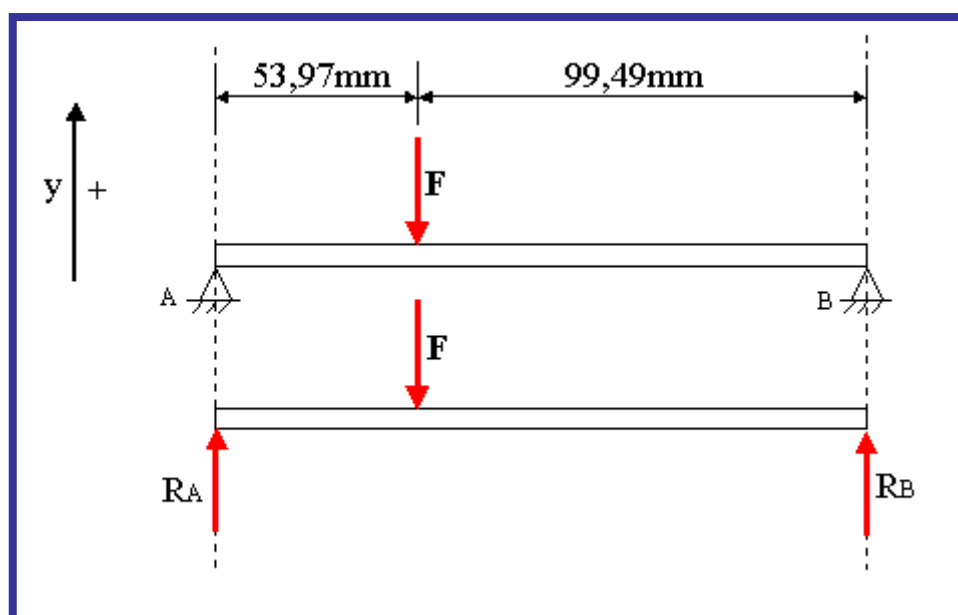


Figura 56 – Diagrama de Reação do mancais do eixo do tambor.

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ R_A + R_B - 634,82 &= 0 \\ \sum M_A &= 0 \\ -634,82 \times 54 + R_B \times (99,5 + 54) &= 0 \\ R_B &= \frac{634,82 \times 54}{99,5 + 54} \\ R_B &= 223,22 \text{ N}\end{aligned}$$

Voltando a equação do somatório de forças no eixo y:

$$\begin{aligned}R_A + R_B - 634,82 &= 0 \\ R_A + 223,82 - 634,82 &= 0 \\ R_A &= 411,5 \text{ N}\end{aligned}$$

Levando em conta a maior força, que é 411,5N, e que sob cada manca há dois tarugos, tem-se os seguintes esforços agindo sobre a solda de cada tarugo:

Força cortante:

$$\begin{aligned}F &= \frac{411,5}{2} \\ F &= 205,75 \text{ N}\end{aligned}$$

Momento fletor:

$$\begin{aligned}M &= 205,75 \times 0,12471 \\ M &= 25,659 \text{ N}\end{aligned}$$

Assim pode-se calcular a resistência da solda na base dos tarugos. É importante lembrar que as soldas que ficam na base dos tarugos, são circulares, portanto as a serem utilizadas, encontram-se no Quadro 7.

$$\begin{aligned}A &= 1,414 \times \pi \times h \times r = 1,414 \times \pi \times 0,006 \times (0,050/2) \\ A &= 6,663 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ I_U &= \pi \times r^3 = \pi \times (0,050/2)^3\end{aligned}$$

$$I_U = 4,909 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$I = 0,707 \times h \times I_U = 0,707 \times 0,006 \times 4,909 \times 10^{-5}$$

$$I = 2,082 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Esforço de flexão:

$$\sigma = \frac{M \times c}{I} = \frac{(25,659/2) \times (0,050/2)}{2,082 \times 10^{-7}}$$

$$\sigma = 1,541 \text{ MPa}$$

Esforço de cisalhamento:

$$\tau = \frac{205,75}{6,663 \times 10^{-4}} = 0,309 \text{ Mpa}$$

Isto é, os esforços de flexão e de cisalhamento serão facilmente suportados por cada solda da base dos tarugos de apoio dos mancais do eixo do tambor.

ROLDANA MENOR DA BASE

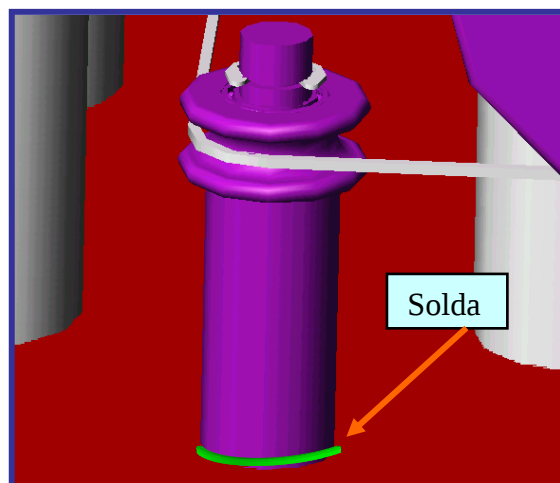


Figura 57 – Solda da base do pedestal da roldana menor.

Cálculo da força resultante que atua sobre a roldana menor, da base, e seu pedestal:

$$F^2 = 634,82^2 + 634,82^2$$

$$F = 634,82 \times \sqrt{2}$$

$$F = 897,771 \text{ N}$$

Esta força causa o seguinte momento fletor na solda da base do pedestal.

$$M = 897,771 \times 0,07885$$

$$M = 70,789 \text{ N}\cdot\text{m}$$

A solda da base do pedestal é circular, e suas fórmulas são encontradas no quadro 7, página yyy.

$$A = 1,414 \times \pi \times h \times r = 1,414 \times \pi \times 0,006 \times (0,03155/2)$$

$$A = 4,205 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_U = \pi \times r^3 = \pi \times (0,03155/2)^3$$

$$I_U = 1,233 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$I = 0,707 \times h \times I_U = 0,707 \times 0,006 \times 1,233 \times 10^{-5}$$

$$I = 5,230 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Dessa forma calcula-se:

Esforço de flexão na solda:

$$\sigma = \frac{M \times c}{I} = \frac{70,789 \times 0,015775}{5,230 \times 10^{-8}}$$

$$\sigma = 21,352 \text{ MPa}$$

Esforço de cisalhamento na solda:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{897,771}{4,205 \times 10^{-4}}$$

$$\tau = 2,135 \text{ MPa}$$

Ambos os esforços serão suportados com eficácia pela solda da roldana menor da base.

EIXO SUPERIOR

Força que traciona os cabos sustentadores das bases móveis:

$$F_T = 50 \times 9,81 + 634,82 + 150 \times 2 \times 9,81$$

$$F_T = 4068,32 \text{ N}$$

A força traciona cada um desses cabos é:

$$F = \frac{F_T}{2} = \frac{4068,32}{2}$$

$$F = 2034,16 \text{ N}$$

A força resultante que age sobre cada roldana do eixo fixo é:

$$F_R^2 = F^2 + F^2$$

$$F_R = F \times \sqrt{2} = 2034,16 \times \sqrt{2}$$

$$F_R = 2876,74 \text{ N}$$

Segundo o diagrama de esforço cortante e momento fletor mostrado abaixo (Figura 58):

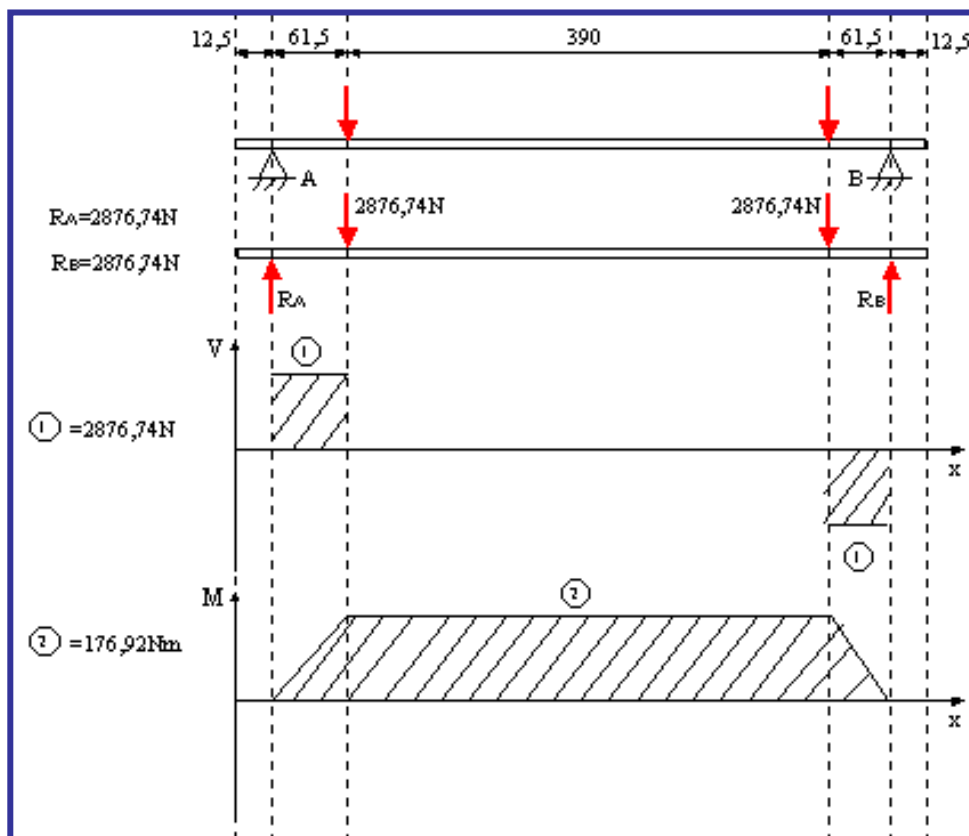


Figura 58 – Diagrama de Momentos Fletores e Esforços Cortantes sobre o eixo superior.

Assim se tem:

Maior esforço cortante: $V = 2876,74 \text{ N}$

Maior momento fletor: $M = 179,92 \text{ N}$

Para a seção onde ocorre o maior momento fletor, o diâmetro desta tem valor igual 19mm, e para a seção onde ocorre o maior esforço cortante, essa tem diâmetro de valor 18mm.

Calculo da resistência ao maior momento fletor:

$$\begin{aligned}c &= \frac{0,019}{2} = 0,0095 \text{ m} \\I &= \frac{\pi \times r^4}{4} = \frac{\pi \times (0,0095)^4}{4} \\I &= 6,397 \times 10^{-9} \text{ m}^4 \\ \sigma &= \frac{176,92 \times 0,0095}{6,397 \times 10^{-4}} \\ \sigma &= 262,862 \text{ MPa}\end{aligned}$$

O esforço de flexão está abaixo do limite de escoamento do material da barra, que AISI 1020.

Cálculo da resistência ao maior esforço cortante:

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{V}{A} = \frac{2876,74}{\pi \times (0,009)^2} \\ \tau &= 11,305 \text{ MPa}\end{aligned}$$

O esforço de cisalhamento será suportado pela barra.

CANTONEIRA

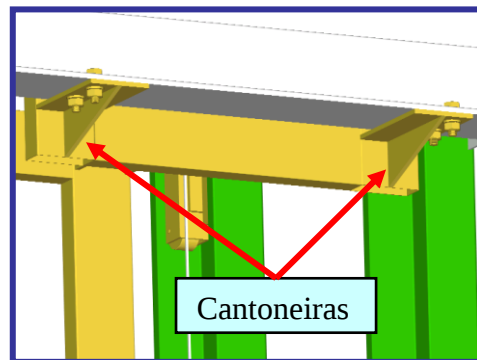


Figura 59 – Cantoneiras das bases móveis.

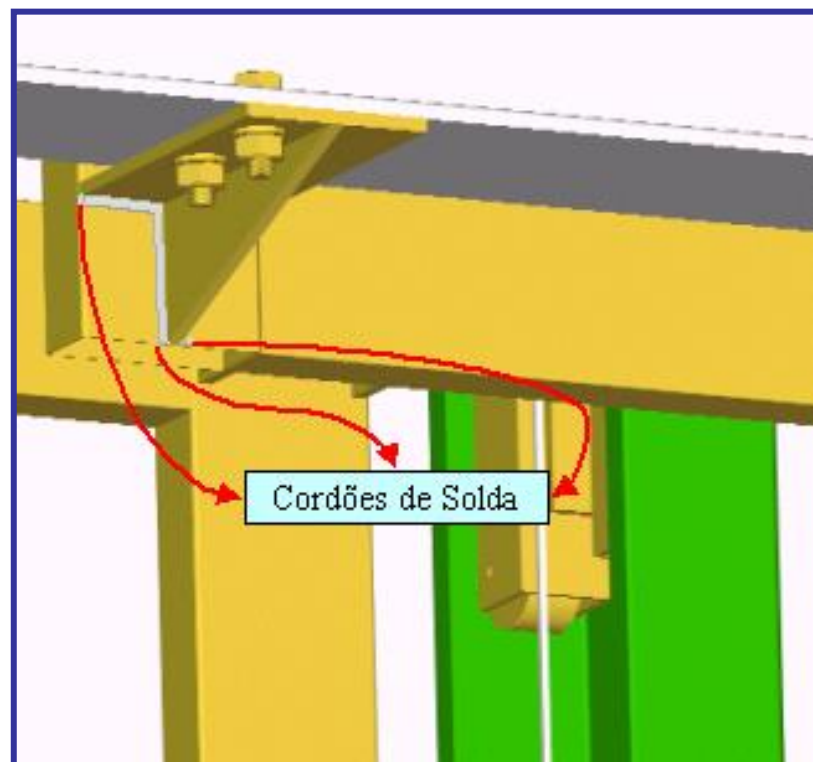


Figura 60 – Cordões de Solda das cantoneiras das bases móveis.

É necessário se as soldas da cantoneira, Figura 60, irão resistir ao peso da carga, que o suporte está comportando. Para isso é feito o seguinte diagrama esquemático, Figura 61:

Cálculo para a verificação se a solda da cantoneira previamente designada irá suportar o esforço imposto a ela:

A Figura 62 representa o diagrama de esforços cortantes e momentos fletores, do sistema proposto na Figura 60.

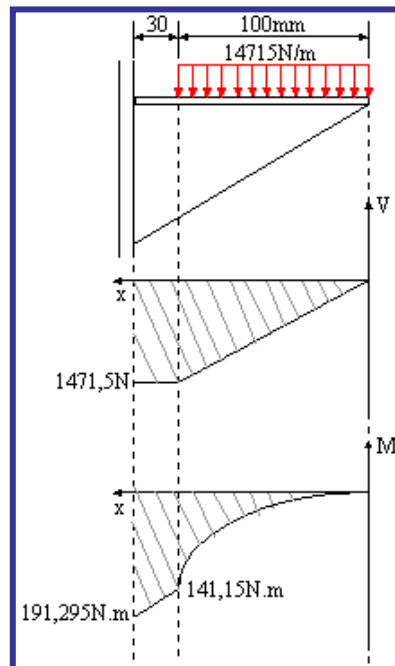


Figura 61 – Diagrama de Momentos Fletores e Esforços Cortantes.

Baseado na figura logo acima, é aceitável fazer a simplificação do sistema (Figura 62), com intuito de facilitar a obtenção dos valores dos esforços que agem sobre os cordões de solda deste item.

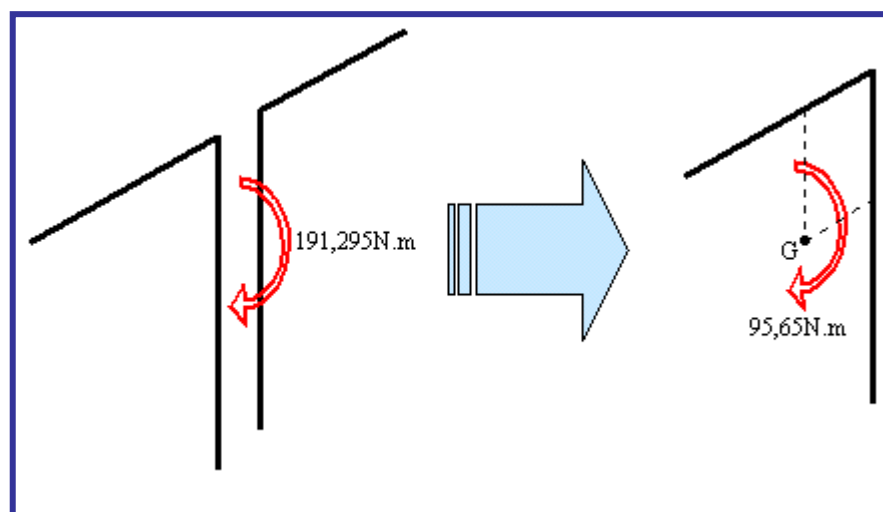


Figura 62 – Esquema da Simplificação do Momento Fletor sobre as soldas da cantoneira das bases móveis.

Para dar desenvolvimento a este equacionamento, é interessante fazer uma relação das fórmulas que caracterizam as propriedades geométricas desta solda.

Área de penetração $\rightarrow A = 0,707 \times h \times (b + d)$

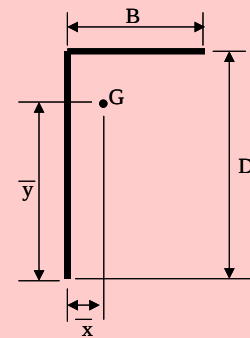
Localização do G $\rightarrow \bar{x} = \frac{b^2}{2 \times (b + d)}$ e $\bar{y} = \frac{d^2}{2 \times (b + d)}$

Momento de inércia unitário $\rightarrow I_U = \frac{d^2}{12} \times (d + 3 \times b)$

Momento de inércia $\rightarrow I = 0,707 \times h \times \frac{d^2}{12} \times (d + 3 \times b)$

Momento polar de inércia unitário $\rightarrow J_U = \frac{d^2}{12} \times (d + 3 \times b)$

Momento polar de inércia $\rightarrow J = 0,707 \times h \times \frac{d^2}{12} \times (d + 3 \times b)$



Quadro 8

Dados levantados do sistema previamente dimensionado:

- $b = 37,76 \text{ mm}$
- $h = 6 \text{ mm}$
- $d = 50 \text{ mm}$

Cálculo levando em questão a tensão provocada pelo esforço de flexão:

$$\sigma = \frac{M \times c}{I} = M \times \frac{d^2}{2 \times (b + d)} \times \left[0,707 \times h \times \frac{d^2}{12} \times (d + 3 \times b) \right]^{-1}$$

onde a variável c tem o valor de $\bar{x}$, daí:

$$\sigma = 95,65 \times \frac{0,005^2}{2 \times (0,003476 + 0,005)} \times \left[0,707 \times 0,006 \times \frac{0,005^2}{12} \times (0,005 + 3 \times 0,003476) \right]^{-1}$$

$\sigma = 10,750 \text{ MPa}$

Esta tensão tem um valor muito, a solda resistirá ao esforço de flexão.

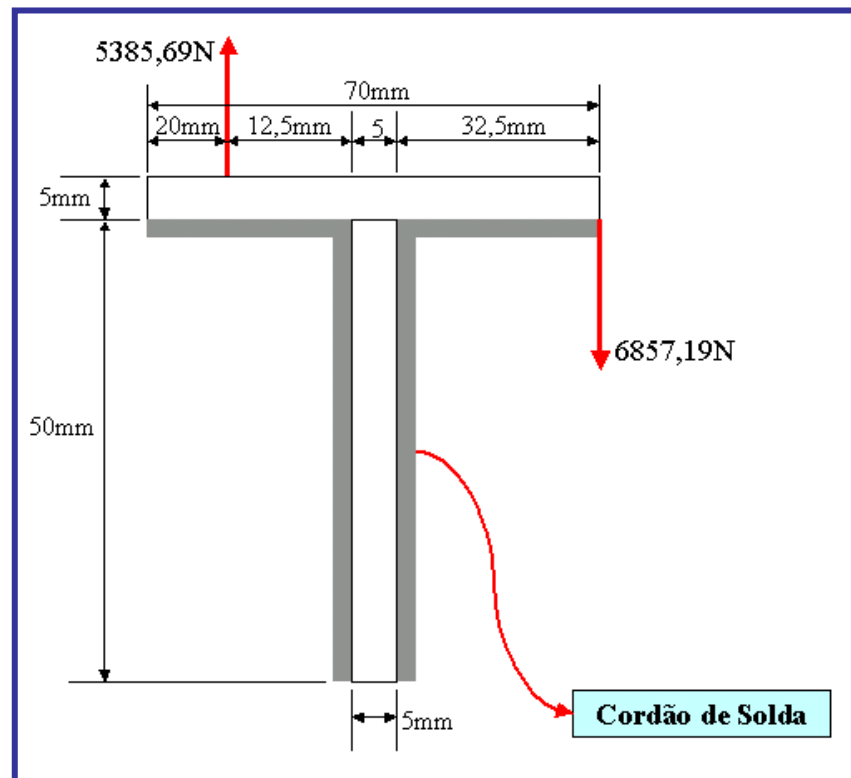


Figura 63 – Diagrama das forças que atuam sobre as cantoneiras da bases móveis.

Cálculo levando em questão a tensão provocada pelo esforço de cisalhamento:

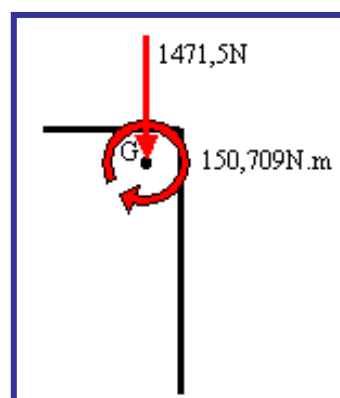


Figura 64 – Diagrama de Esforços

Baseando-se no esquema da Figura 63, é simplificado o sistema, Figura 64, e nos dados geométricos, da solda em questão, já fornecidos, calcula-se:

$$\tau = \frac{V}{A}$$

$$\text{sendo } V = \frac{14715 \times 0,10}{2} = 735,75 \text{ N e}$$

$$A = 0,707 \times h \times (b + d) = 0,707 \times 0,006 \times (0,0325 + 0,05) = 3,500 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

então:

$$\tau_1 = \frac{V}{A} = \frac{735,75}{3,500 \times 10^{-4}}$$

$$\tau_1 = 2,102 \text{ MPa}$$

$$\tau_2' = \frac{M \times \bar{y}}{J}$$

$$\text{antes se calcula: } \bar{y} = \frac{d^2}{2 \times (b + d)} = \frac{0,05^2}{2 \times (0,0325 + 0,05)} = 0,0151 \text{ m e}$$

$$J = 0,707 \times h \times J_U = 0,707 \times 0,006 \times 3,079 \times 10^{-5}$$

$$J = 1,306 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$M = \frac{6875,19 \times 0,035 + 5385,69 \times 0,015}{2} = 150,709 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Uma vez que quando calculado J_U , segundo os dados fornecidos, ele tem o valor de $3,079 \times 10^{-5}$.

Dessa forma:

$$\tau_2' = \frac{M \times \bar{y}}{J} = \frac{150,709 \times 0,0151}{1,306 \times 10^{-7}}$$

$$\tau_2' = 14,425 \text{ MPa}$$

$$\tau_2' = \frac{M \times \bar{x}}{J} \text{ sendo } \bar{x} = \frac{b^2}{2 \times (b + d)} = \frac{0,0325^2}{2 \times (0,0325 + 0,05)} = 6,402 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{assim } \tau_2' = \frac{M \times \bar{x}}{J} = \frac{150,709 \times 6,402 \times 10^{-3}}{1,306 \times 10^{-7}} = 7,388 \text{ MPa}$$

A tensão de cisalhamento resultante é:

$$\tau_R = \sqrt{(\tau_2'' + \tau_1)^2 + (\tau_2')^2} = \sqrt{(7,388 + 2,102)^2 + (17,425)^2}$$

$$\tau_R = 17,268 \text{ MPa}$$

Dessa forma a solda está solicitada por esforços, que geram tensões, que estão bem abaixo do limite de escoamento do material desta.

BASE DO SUPORTE

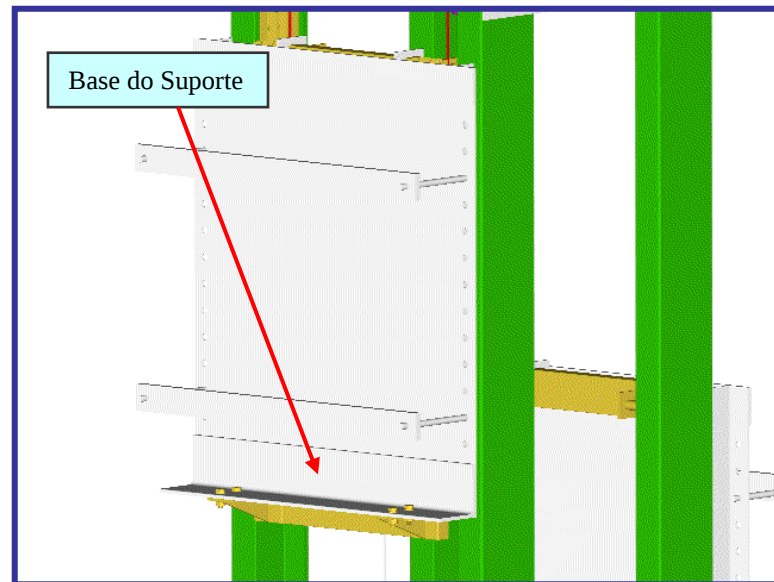


Figura 65 – Base do Suporte

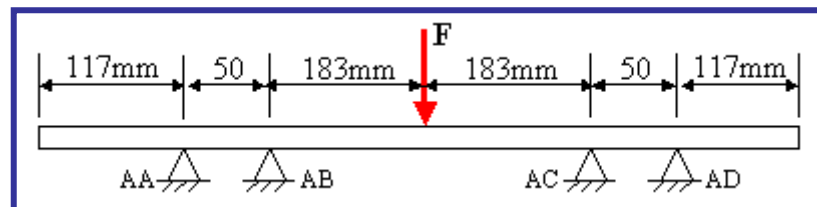


Figura 66 – Diagrama esquemático da base do suporte da base móvel e seus mancais.

Equações de equilíbrio baseadas no esquema acima (Figura 66):

$$F = -150 \times 9,81 \times K = -150 \times 9,81 \times 2$$

$$F = -2943 \text{ N}$$

Como a distribuição de forças é simétrica, se pode considerar o seguinte esquema (Figura 67):

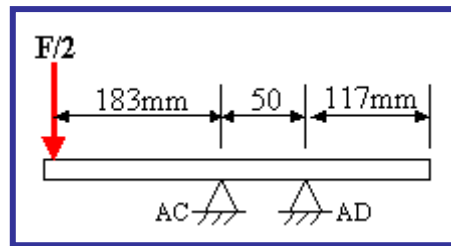


Figura 67 – Simplificação do diagrama mostrado na Figura 65.

$$\begin{aligned}\sum F_Y = 0 \quad 0 &= \frac{F}{2} + R_{AC} + R_{AD} \\ -F &= 2 \times (R_{AC} + R_{AD})\end{aligned}$$

$$\sum M_D = 0 \quad 0 = \frac{F}{2} \times 233 + R_{AC} \times 50$$

$$\begin{aligned}R_{AC} &= -F \times \frac{233}{50 \times 2} = -(-2943) \times \frac{233}{50 \times 2} \\ R_{AC} &= 6857,19 \text{ N}\end{aligned}$$

Voltando a equação do somatório de forças no eixo y:

$$\begin{aligned}-F &= 2 \times (R_{AC} + R_{AD}) \\ -(-2943) &= 2 \times (6857,19 + R_{AD}) \\ R_{AD} &= -5395,69 \text{ N}\end{aligned}$$

Por simetria, se tem:

$$\vec{R}_{AA} = \vec{R}_{AD} \text{ e } \vec{R}_{AB} = \vec{R}_{AC}$$

De posse destes dados, é possível construir o seguinte diagrama de esforços cortantes e momentos fletores (Figura 68):

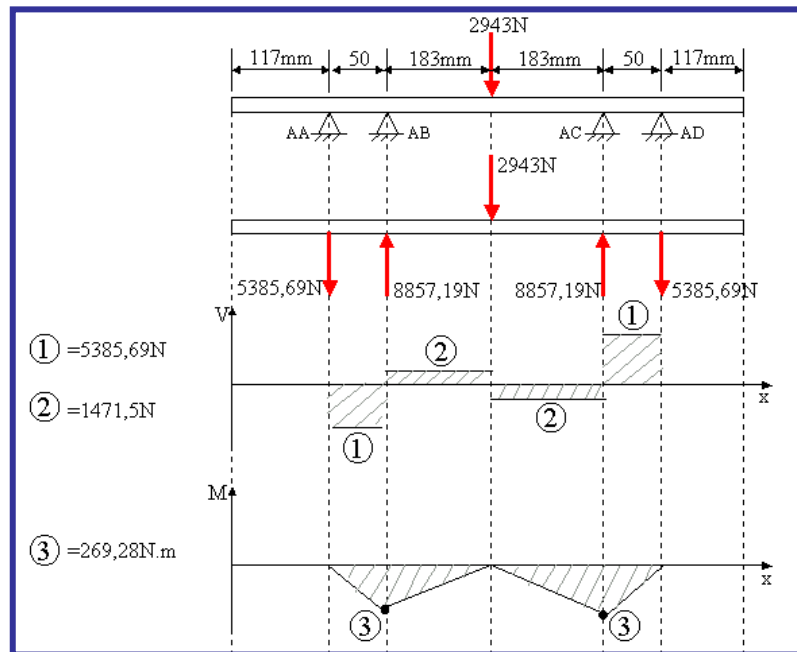


Figura 68 – Diagrama de Esforços Cortantes e Momentos Fletores da base do suporte das bases móveis.

Com base neste diagrama é possível calcular as tensões sobre a base do suporte:

É importante salientar os valores do momento fletor e do esforço cortante máximos, que são respectivamente:

$$M=269,28\text{N}\cdot\text{m} \text{ e } V = 5385,69 \text{ N}$$

Observação: O a base do suporte é um perfil de abas iguais, cuja designação é 100x100x6,8.

Cálculo da tensão causada pelo esforço de flexão:

$$\sigma = \frac{M}{W} \text{ onde } M=269,28\text{N}\cdot\text{m} \text{ e } W = 17,21 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Portanto:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{269,28}{17,21 \times 10^{-6}}$$

$$\sigma = 15,647 \text{ MPa}$$

Cálculo da tensão de cisalhamento causada pelo esforço fletor:

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{5385,69}{1252 \times 10^{-6}}$$

$$\tau = 4,302 \text{ MPa}$$

O item em questão suportará facilmente este esforço de cisalhamento.

PARAFUSOS DE ACOPLAMENTO DO SUPORTE COM A MESA MÓVEL

Os parafusos foram previamente designados como: sextavado, M10, 30mm de comprimento, rosca contínua, classe 8.8 (Preferencialmente da marca CISER). É conveniente lembrar que segundo a norma DIN ISO 898-1 um parafuso de classe 8.8, com diâmetro menor que 16 milímetros, apresenta a tensão escoamento 627,84MPa.

Estes parafusos acoplam e fixam o suporte à base móvel, esta união conta também com o emprego de porcas e arruelas, conforme demonstrado na Figura 69.

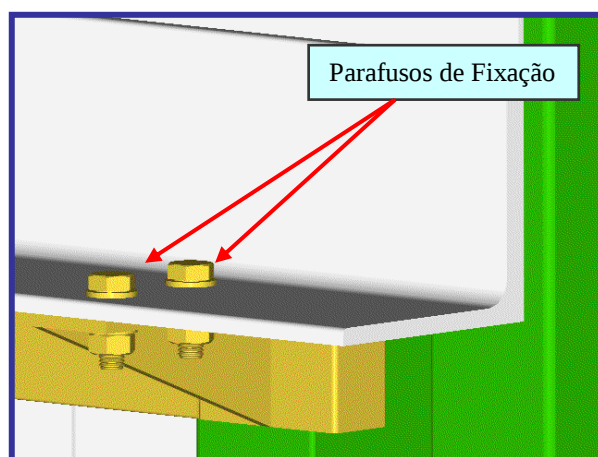


Figura 69 – Parafusos de fixação do base do suporte.

Deve-se fazer um cálculo, para verificar se tais parafusos designados irão suportar a carga imposta a eles. Os cálculos estão descritos a seguir:

Cálculo da resistência ao esforço de tração nos parafusos:

$$F = \frac{5385,69}{2} = 2692,845 \text{ N}$$
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{2692,845}{\pi \times (0,010/2)^2} = 34,286 \text{ MPa}$$

Esta tensão é admissível, levando em conta o material do parafuso.

Cálculo do torque de montagem:

$$T = 0,20 \times F_i \times d \text{ sendo } F_i = 0,90 \times 64 \times 10^6 \times \pi \times (0,010/2)^2 = 4523,893 \text{ N}$$

daí

$$T = 0,20 \times F_i \times d = 0,20 \times 4523,893 \times 0,010$$
$$T = 9,048 \text{ N}$$

Desse modo o torque montagem de cada parafuso de acoplamento do suporte com a base móvel deverá ter o valor de 9,048N.

SUSTENTADOR DO EIXO DAS ROLDANAS DA PARTE SUPERIOR

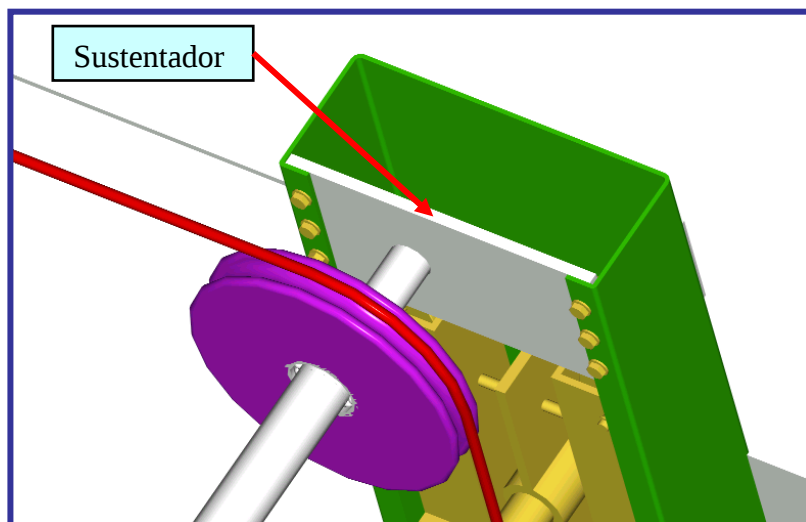


Figura 70 – Sustentador do eixo das roldanas da parte superior do Equipamento de Movimentação Vertical.

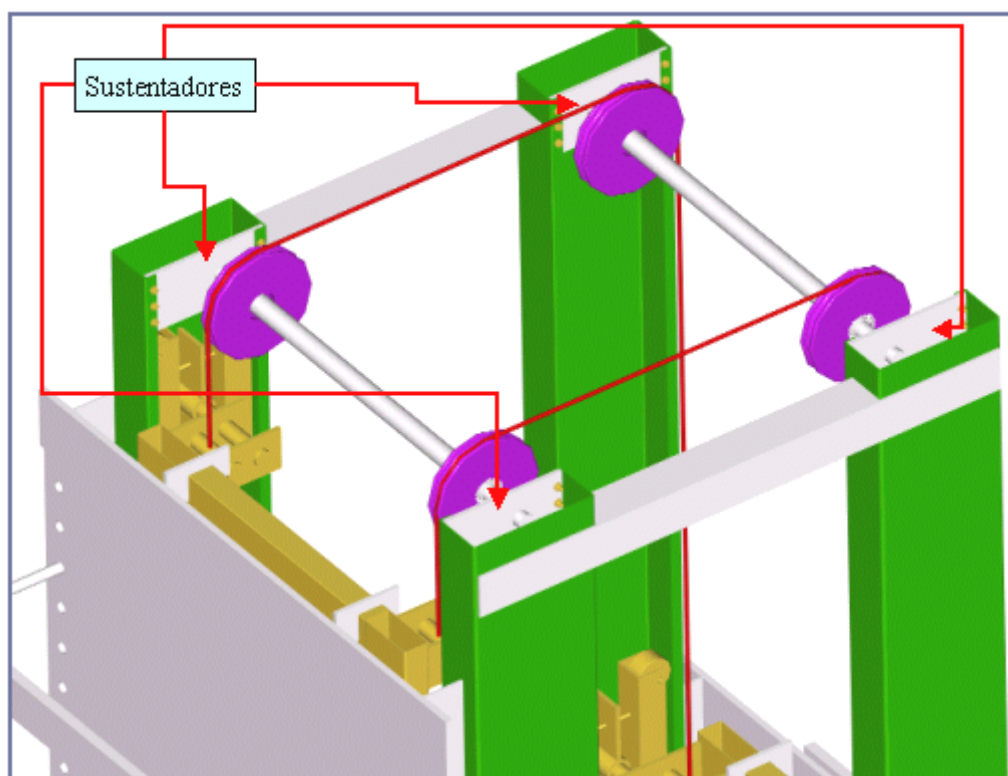


Figura 71 – Sustentadores dos eixos das roldanas da parte superior do Equipamento de Movimentação Vertical.

Este item tem a função de servir como suporte para o eixo superior, conforme mostra a Figura 70. A seguir se dá o procedimento para o cálculo para averiguar a resistência mecânica desses quatro itens.

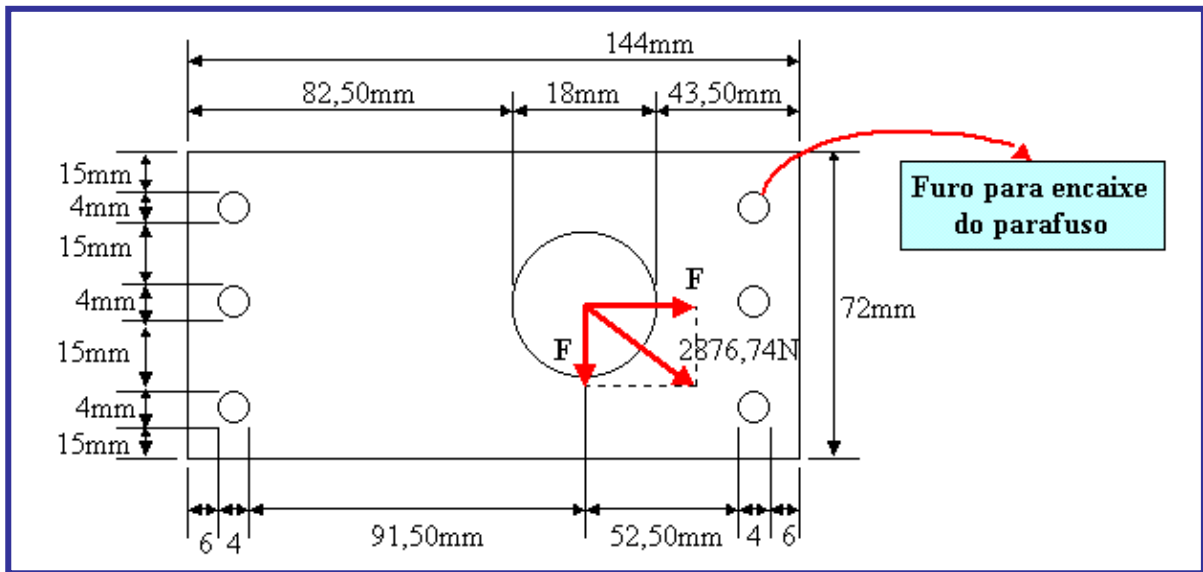


Figura 70– Diagrama das forças que agem sobre o sustentador.

Cálculo do valor da tensão de compressão:

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ sendo } F = 2876,74 \text{ N e } A = 0,018 \times 0,005 = 9 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

assim:
$$\sigma = \frac{2876,74}{9 \times 10^{-5}} = 31,964 \text{ MPa (compressão)}$$

O que é um esforço admissível.

Cálculo da tensão causada pelo esforço de flexão:

Considerando o esquema acima (Figura 70)

$$F = 2876,74 \times \sin 45^\circ = 2034,162 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \quad \begin{aligned} R_A + R_B - 2034,162 &= 0 \\ R_A &= 2034,162 - R_B \end{aligned}$$

$$\sum M_A = 0 \quad \begin{aligned} -2034,162 \times 97,50 + R_B \times 144 &= 0 \\ R_B &= 1377,297 \text{ N} \end{aligned}$$

Retornando a equação do somatório de forças em y:

$$R_A = 2034,162 - R_B = 2034,162 - 1377,297$$
$$R_A = 656,868\text{N}$$

A partir desses dados é possível construir os diagramas de esforços cortantes e momentos fletores que é mostrado na Figura 71, logo abaixo, note que os mancais deste diagrama representam, cada um, uma das duas fileiras de três parafusos que cada sustentador possui.

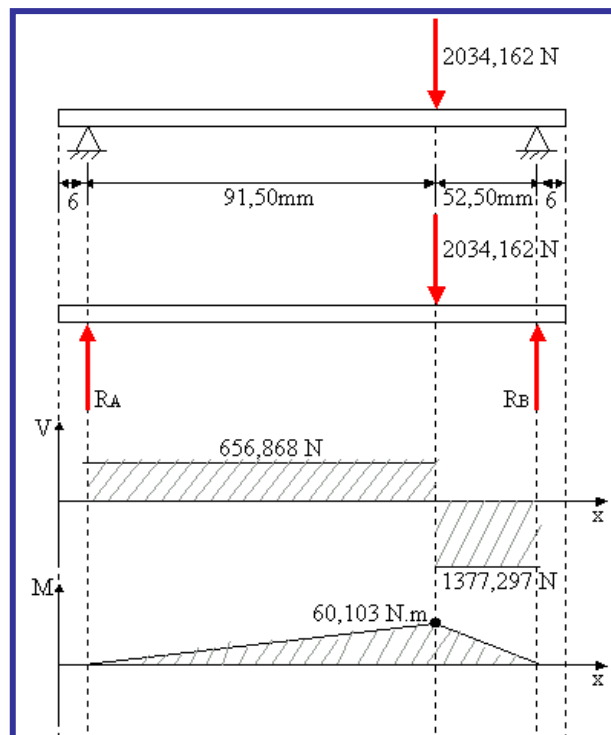


Figura 71 – Diagrama de Esforços Cortantes e Momentos Fletores.

Segundo o diagrama acima o maior momento fletor e o maior esforço cortante, respectivamente, os valores:

$$V = 1377,297\text{ N e } M = 60,103\text{ N.m}$$

Com esses dados se calcula:

Tensão causada pelo esforço de flexão:

$$\sigma = \frac{M \times c}{I} \text{ onde } c = \frac{0,072}{2} = 0,036 \text{ mm},$$

$$M = 60,103 \text{ N.m e } I = \frac{0,005 \times 0,072^3}{12} - \frac{0,005 \times 0,018^3}{12} = 1,531 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

conseqüentemente: $\sigma = \frac{M \times c}{I} = \frac{60,103 \times 0,036}{1,531 \times 10^{-7}} = 14,133 \text{ MPa}$

que representa um esforço admissível para o item em questão.

Observação: O momento de inércia I é calculado pela subtração da área da seção transversal do furo de 18mm, da área da seção transversal do item em questão sem levar em consideração o furo.

Cálculo da tensão causada pelo esforço cortante:

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{1377,297}{0,072 \times 0,005 - 0,018 \times 0,005} = 5,101 \text{ MPa}$$

Cálculo dos esforços nos parafusos de junção:

Cálculo da tensão de compressão nos parafusos

Para cada parafuso:

$$\sigma = \frac{F_R}{A} \text{ onde } A = 0,005 \times 0,004 = 20 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

$$F_1 = \frac{1377,297}{3} = 459,099 \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{2034,162}{6} = 339,027 \text{ N}$$

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{459,099^2 + 339,027^2} = 570,711 \text{ N}$$

assim: $\sigma = \frac{F_R}{A} = \frac{570,711}{20 \times 10^{-6}} = 28,535 \text{ MPa}$

Esta tensão também é admissível para cada parafuso.

Cálculo da tensão causada pelo esforço cortante:

$$\tau = \frac{F_R}{A} = \frac{570,711}{20 \times 10^{-6}} = 28,535 \text{ MPa}$$

A tensão causada por este esforço também é admissível para cada parafuso.

RODAS DO CARRO GUIA

Cálculo da carga radial sobre os rolamentos:

$$F_R = \frac{\{[(150 \times 2 \times 9,81 + 50 \times 9,81) \times 0,200] / 0,760\}}{8} = 109,984 \text{ N}$$

Para uma carga dessa magnitude o rolamento designado será:

Rolamento rígido de esferas, marca SKF, designação 618/5.

SUPORTE DO EIXO DO CARRO GUIA

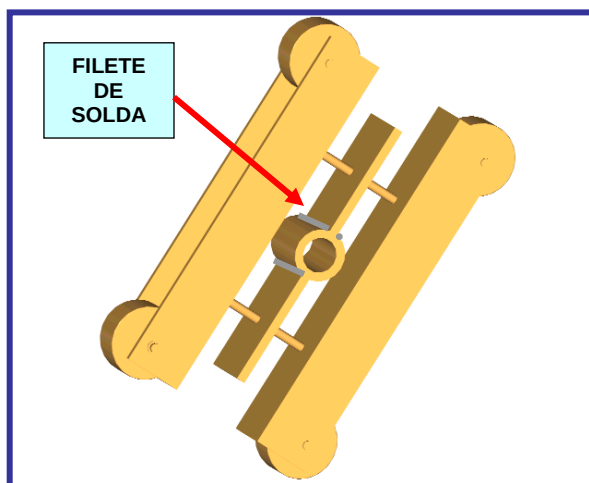


Figura 72 – Filetes de Solda do eixo do carro guia.

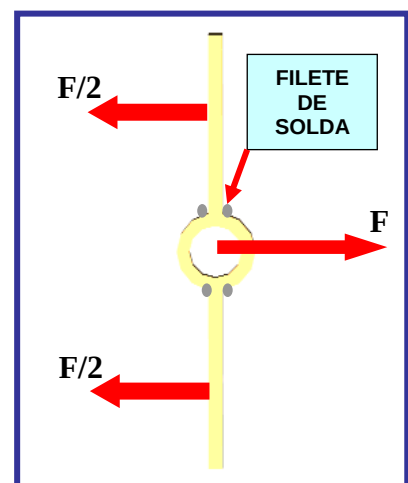


Figura 73 – Esforços sobre os filetes de solda do eixo do carro guia.

Cálculo da resistência da solda quanto à tensão de flexão:

Área de penetração → $A = 1,414 \times h \times d \times b$

Localização do G → $\bar{x} = \frac{b}{2}$ e $\bar{y} = \frac{d}{2}$

Momento de inércia unitário → $I_U = \frac{b \times d^2}{2}$

Momento de Inércia → $I = 0,707 \times h \times \frac{b \times d^2}{2}$

Quadro 9

$$F = \frac{879,868}{4} = 219,967 \text{ N}$$

$$M = 219,967 \times 0,0465 = 10,228 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$I = 0,707 \times h \times \frac{b \times d^2}{2} = 0,707 \times 0,006 \times \frac{0,040 \times 0,0285^2}{2}$$

$$I = 6,891 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$\sigma = \frac{M \times c}{I} = \frac{10,228 \times 0,004}{6,891 \times 10^{-8}}$$

$$\sigma = 0,594 \text{ MPa}$$

Uma tensão muito baixa, que será suportada facilmente pela solda.

Cálculo da tensão causada pelo esforço de cisalhamento:

$$A = 1,414 \times h \times b = 1,414 \times 0,006 \times 0,040$$

$$A = 33,936 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{219,967}{33,936 \times 10^{-5}}$$

$$\tau = 0,648 \text{ MPa}$$

Ou seja, uma tensão extremamente pequeno.

EIXO DA RODA DO CARRO GUIA

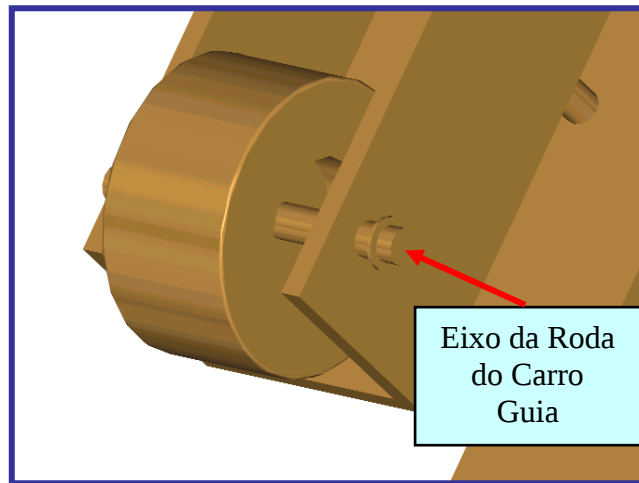


Figura 74 – Eixo da roda do Carro Guia

Devido as forças de reação das molas, calculadas no momento anterior, os eixos das rodas dos carros guias sofrem cisalhamento.

Cálculo da tensão causada pelo esforço de cisalhamento

Para cada eixo:

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{219,967}{\pi \times (0,01270 / 2)^2} = 1,736 \text{ MPa}$$

Este esforço é admissível para cada eixo.

MOLAS DO CARRO GUIA

Estas molas não constam no desenho 3D do projeto.

A força de reação de cada mola:

$$F_R = \frac{\{[(150 \times 2 \times 9,81 + 50 \times 9,81) \times 0,200] / 0,760\}}{4} = 219,968 \text{ N}$$

É desejável que quando aplicada esta carga à mola, ela tenha um deslocamento de no máximo 10mm. Daí o cálculo da constante da mola é:

$$F_R = k \times x$$

$$k = \frac{F_R}{x} = \frac{219,968}{0,005}$$

$$k = 43993,6 \text{ N/m}$$

A mola deve ter o comprimento de 25mm e diâmetro de 36mm.

ROLDANA MAIOR DA BASE

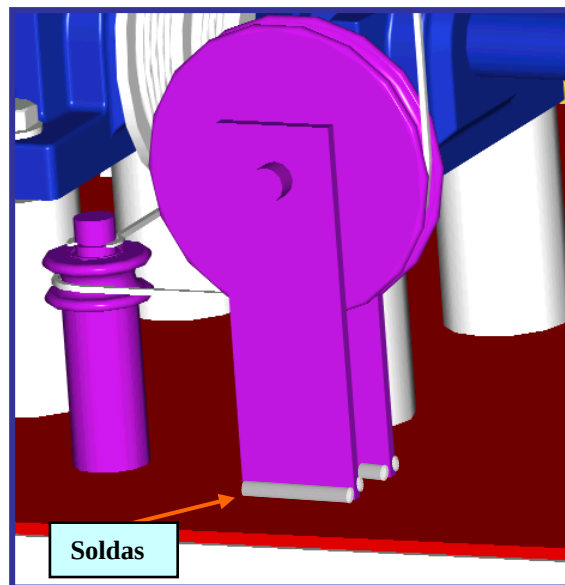


Figura 75 – Filetes de solda da base do pedestal da roldana maior da Base.

Note na figura 75, que as soldas são os elementos, com geometria de filetes paralelos, indicados pela seta.

E as fórmulas respectivas a este tipo de solda estão no quadro 10. A seguir procede-se ao cálculo do esforço que cada filete desta solda está sofrendo:

$$F = 634,52 \times \sqrt{2} = 897,347 \text{ N}$$

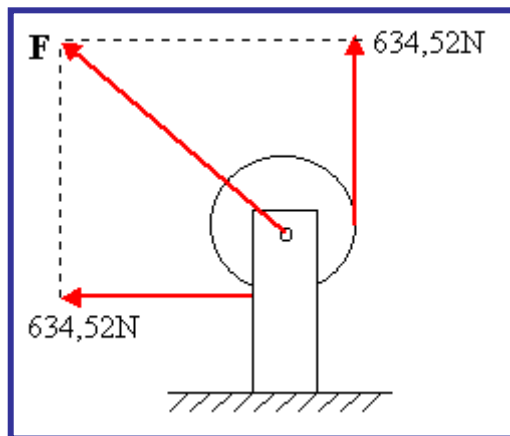


Figura 76 – Diagrama das forças causadas pela tração do cabo de aço.

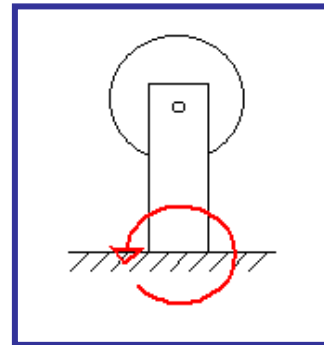


Figura 77 – Momento Fletor causado na base do pedestal.

Cálculo do momento causado na base:

$$M = 634,82 \times 0,13385 = 84,970 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Cálculo do esforço cortante em cada solda da base:

$$F_C = \frac{634,82}{4} = 158,705 \text{ N}$$

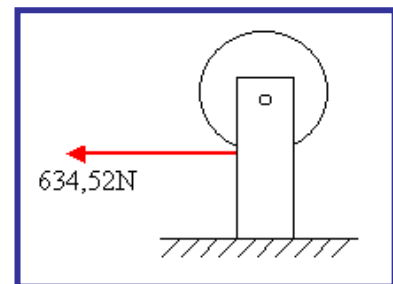


Figura 78 – Diagrama da componente horizontal da força do cabo de aço sobre a roldana maior da base.

Cálculo do momento fletor em cada solda da base:

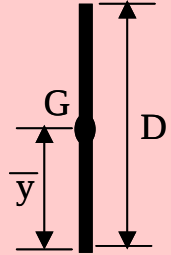
$$M_F = \frac{84,931}{4} = 21,243 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Cálculo do esforço de tração em cada solda da base:

$$F_T = \frac{634,82}{4} = 158,705 \text{ N}$$

Cálculo da tensão causada pelo esforço fletor em cada filete de solda:

Para este cálculo as fórmulas das propriedades geométricas de um filetes de solda encontram-se no quadro 10.

Área de penetração → $A = 0,707 \times h \times d$	
Localização do G → $\bar{x} = 0$ e $\bar{y} = \frac{d}{2}$	
Momento de inércia unitário → $I_U = \frac{d^3}{12}$	
Momento de Inércia → $I = 0,707 \times h \times \frac{d^3}{12}$	

Quadro 10

$$A = 0,707 \times h \times d = 0,707 \times 0,006 \times 0,050$$

$$A = 2,121 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_U = \frac{d^3}{12} = \frac{0,050^3}{12} = 1,042 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$I = 0,707 \times h \times I_U = 0,707 \times 0,006 \times 1,042 \times 10^{-5}$$

$$I = 4,420 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

daí

$$\sigma = \frac{M \times c}{I} = \frac{21,243 \times 0,050}{4,420 \times 10^{-8}}$$

$$\sigma = 24,031 \text{ MPa}$$

Este é um esforço admissível, em outras palavras, não atingirá o limite de escoamento da solda.

Cálculo da tensão causada pelo esforço de tração:

$$\sigma = \frac{F_T}{A} = \frac{158,705}{2,121 \times 10^{-4}}$$

$$\sigma = 0,748 \text{ MPa}$$

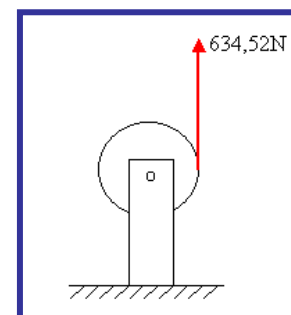


Figura 79 – Diagrama da componente vertical da força do cabo de aço sobre a roldana maior da base.

Esta tensão está muito abaixo do limite de escoamento do material da solda, portanto é admissível.

Cálculo da tensão causada pelo esforço cortante:

$$\tau = \frac{F_C}{A} = \frac{158,705}{2,121 \times 10^{-4}}$$
$$\tau = 0,748 \text{ MPa}$$

SUPORTE DE SUSTENTAÇÃO DAS BASES MÓVEIS

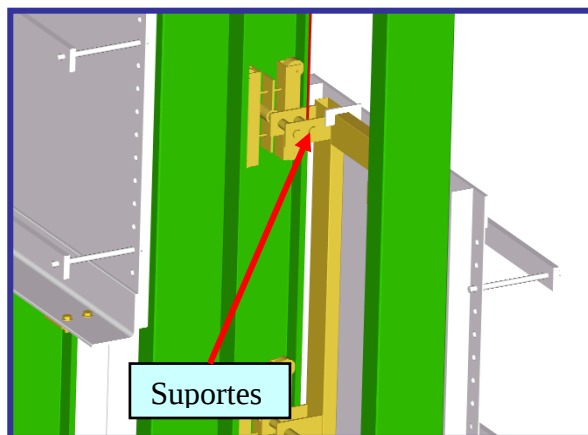


Figura 80 – Suportes de sustentação das Bases Móveis.

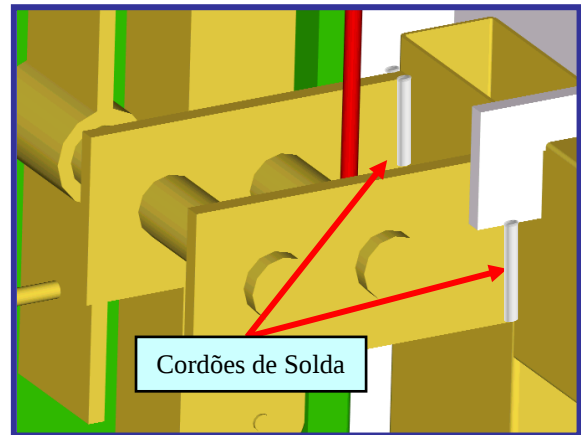


Figura 81 – Cordões de solda dos suportes das Bases Móveis.

Dimensionamento do cordão de solda:

Na figura 82, é mostrado o diagrama esquemático do sistema proposto na Figura 80 e 81.

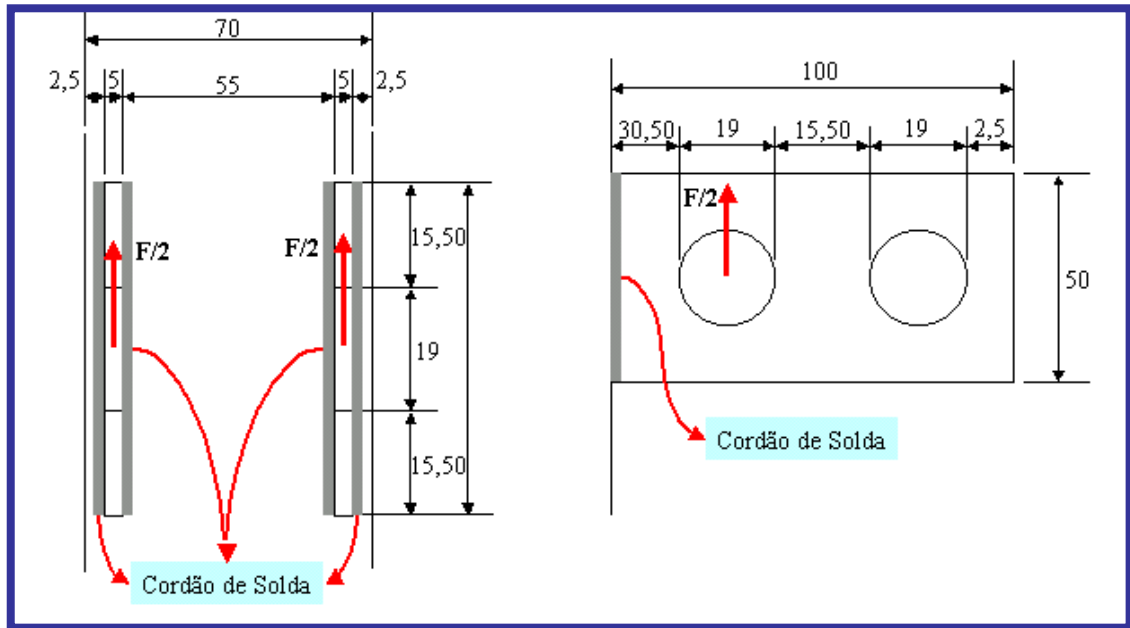


Figura 82 – Diagrama de esforços sobre as soldas dos suportes das Bases Móveis.

A força que atua sobre cada filete de solda:

$$F_F = \frac{F}{4} = \frac{4068,32}{4}$$

$$F_F = 1017,08 \text{ N}$$

Novamente os esforços são tratados sobre cada filete de solda, portanto as fórmulas utilizadas serão as do quadro 10.

Cálculo da tensão causada pelo esforço de filete de solda:

$$M = 1017,08 \times [0,03050 + (0,019/2)] = 40,683 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$c = \frac{0,050}{2} = 0,025 \text{ m}$$

$$I_U = \frac{d^3}{12} = \frac{0,050^3}{12} = 1,042 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$I = 0,707 \times h \times I_U = 0,707 \times 0,006 \times 1,042 \times 10^{-5}$$

$$I = 4,420 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Com esses dados em mãos, se procede ao cálculo da referida tensão:

$$\sigma = \frac{M \times c}{I} = \frac{40,683 \times 0,025}{4,420 \times 10^{-8}}$$

$$\sigma = 23,012 \text{ MPa}$$

A solda resistirá a este esforço.

Cálculo da tensão causada pelo esforço de cisalhamento:

$$A = 0,707 \times 0,006 \times 0,050 = 2,121 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{1017,08}{2,121 \times 10^{-4}}$$
$$\tau = 4,795 \text{ MPa}$$

A solda resistirá muito bem a este esforço de cisalhamento.
BASE

Como a junção de todos os esforços no componente base resulta em uma situação muito complexa para ser calculado de forma convencional, é preferível que seja feita uma análise de elementos finitos.

A análise foi feita através do Programa ANSYS, versão 5.6. Foi usado o elemento quadrilátero, a superfície da base foi definida como um elemento de casca, Shell 93 (ANSYS). A malha refinada foi a seguinte:

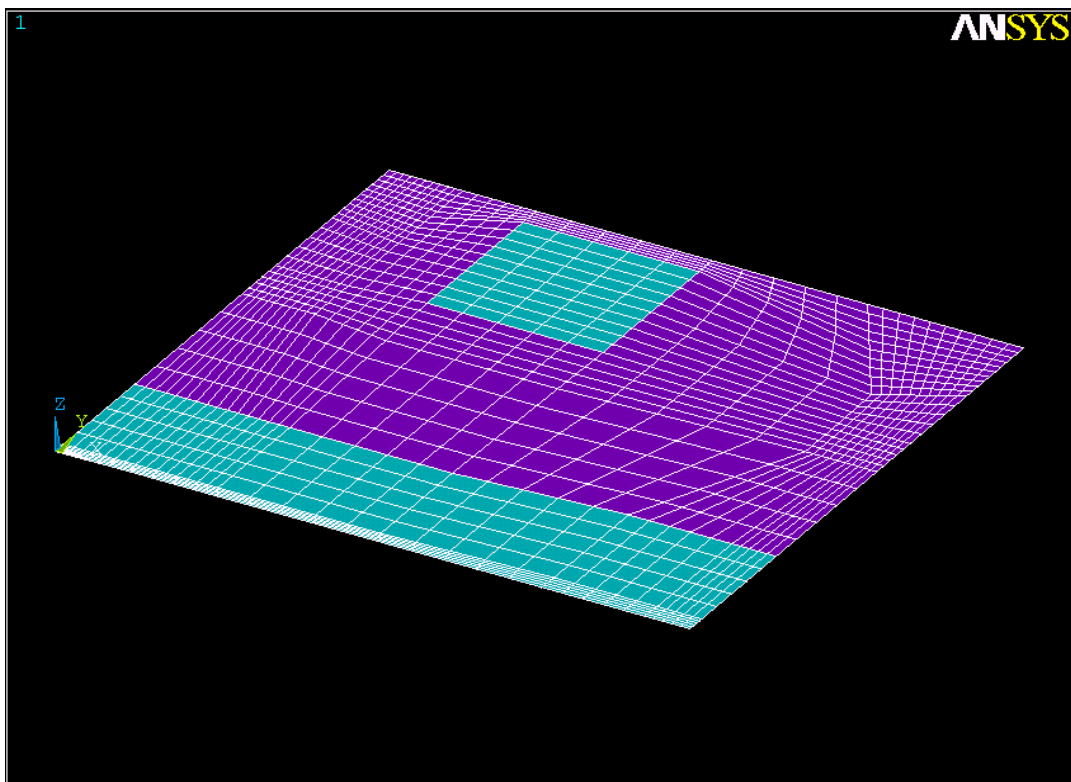


Figura 83 – Malha de elementos finitos refinada da Base através do Programa

Nesta malha os esforços, já calculados, foram atribuídos aos respectivos nós, que condizem com a localização dos componentes.

O resultado da ação dos esforços é o seguinte diagrama de tensões:

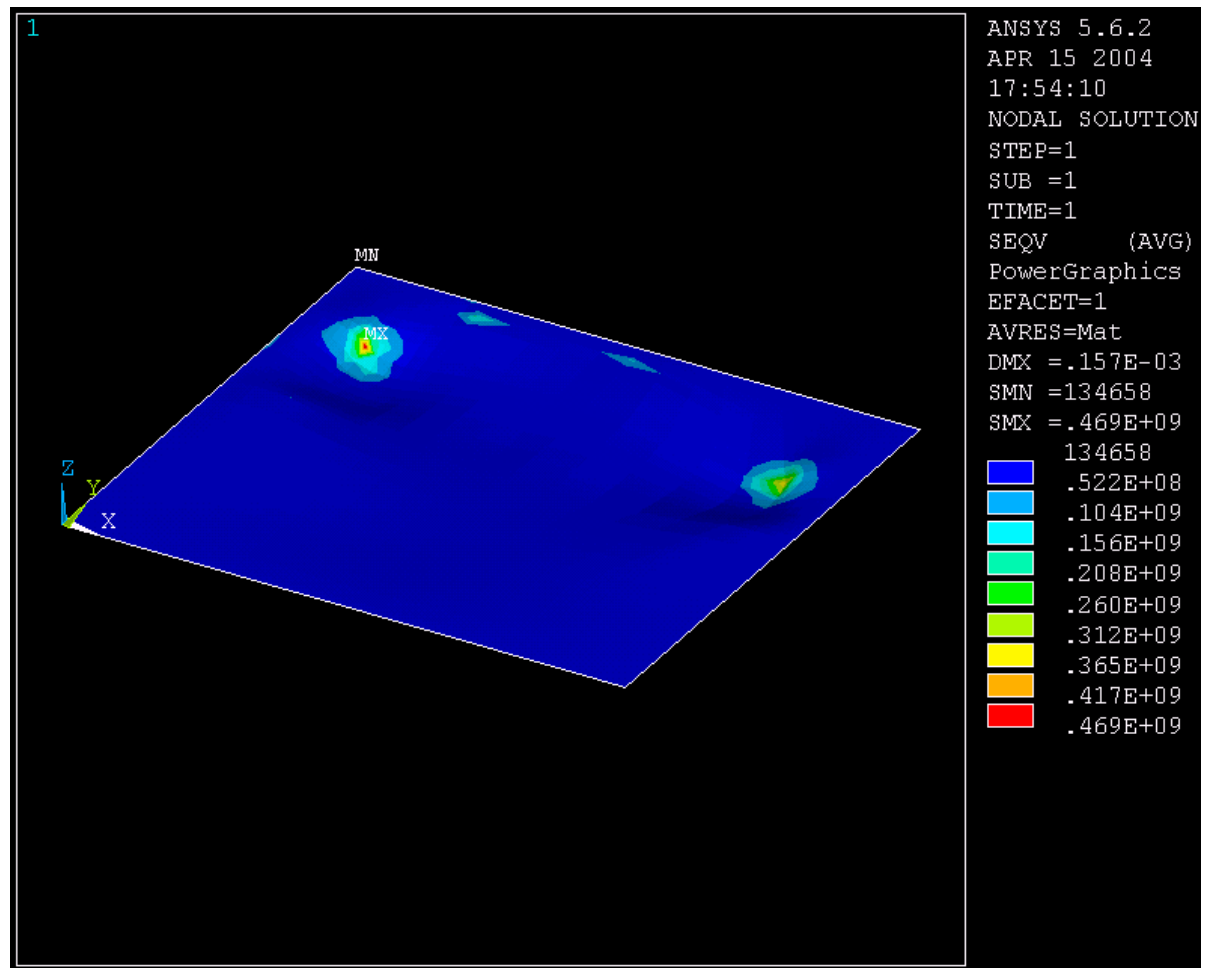


Figura 84 – Diagrama de tensões que a Base sofre, gerado pelo programa ANSYS 5.6

É notado que há uma região chega aos 469MPa, considerando que o material da base é o aço AISI 1020, esta região aparentemente sofreria ruptura, uma vez que a tensão última deste aço é 440MPa.

É possível analisar melhor esta região através da Figura 85, que um aumento de imagem sobre a área em questão.

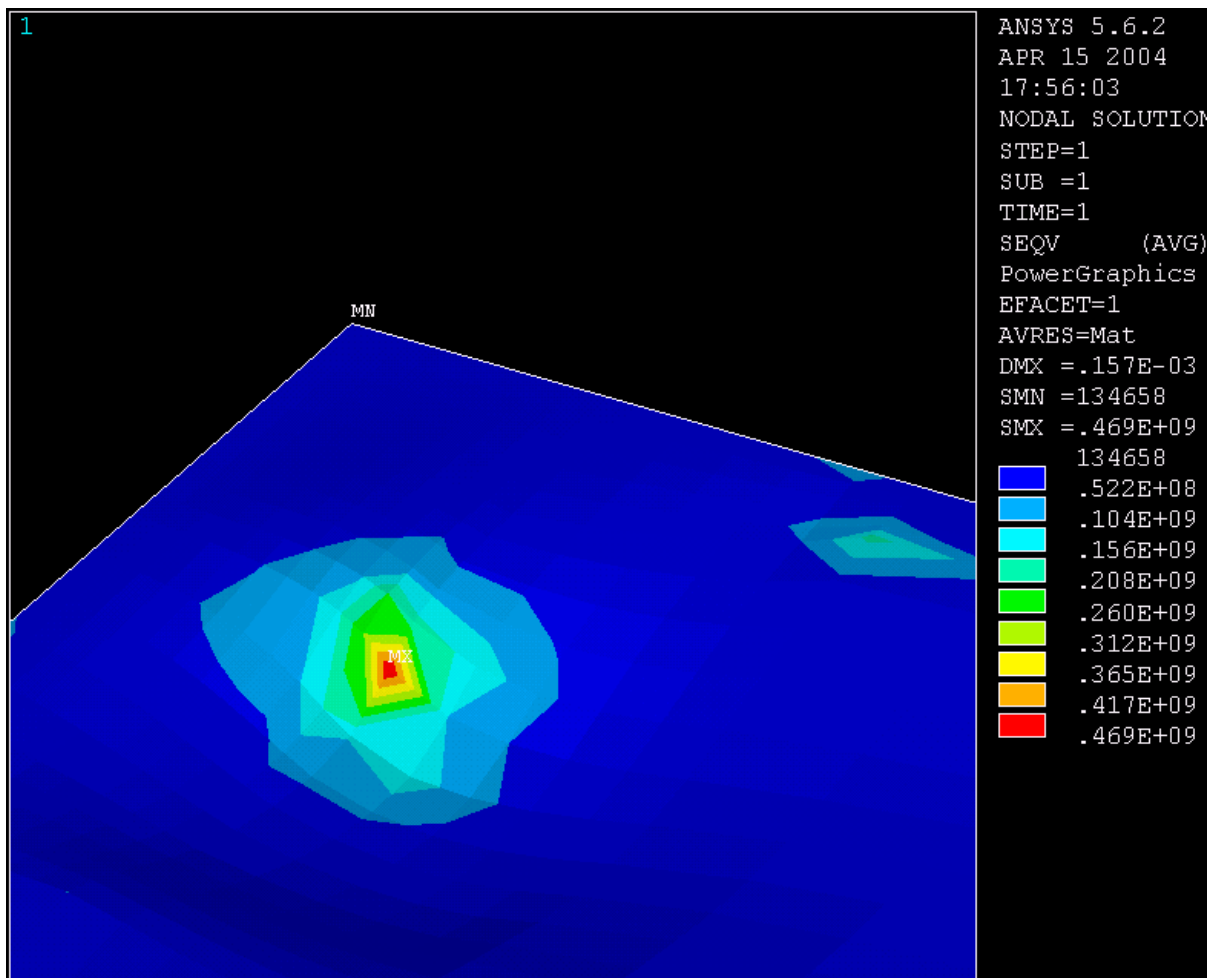


Figura 85 – Vista aproximada da área da Base, que sofre maior tensão.

É necessário questionar este resultado. Primeiro, o ponto em questão, que está no centro da área vermelha, é respectivo ao lugar da roldana menor da base.

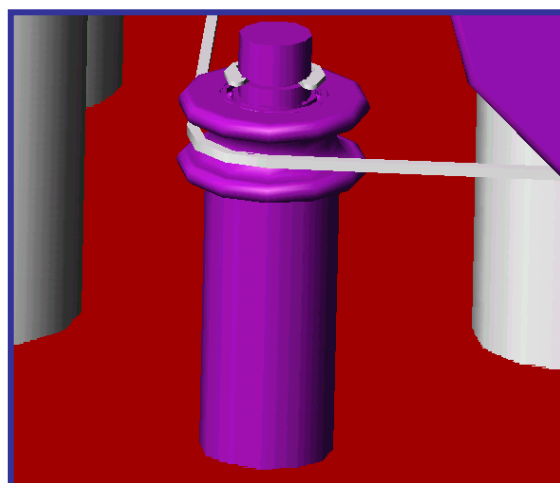


Figura 86 – A área Base que sofre maior tensão é respectiva ao local e esforço que age sobre a roldana menor da Base.

O esforço que as tensões causam nesta roldana são transmitidos para a solda circular que fica na base deste componente, e que o une ao componente base. Dessa forma o esforço está distribuído ao longo da área circular dessa solda, e não como na análise feita de elementos finitos, onde o esforço da tensão do cabo de aço é transmitida para apenas um único ponto da malha, distorcendo-a de forma que não condiz como o sistema real proposto. Lembrando do coeficiente de segurança usado, valor 2, que se fosse implementado o esforço que realmente será utilizado, a análise de elementos finitos resultaria numa tensão aproximadamente igual a metade daquela atualmente acusada, para o referido ponto da malha. Resumindo, a base com 5 milímetros, irá agüentar os esforços, aos quais ela será submetida.

SELEÇÃO DOS CABOS DE AÇO

Marca: SIVA

Seguindo as orientação de SIVA, 2004, a seleção dos cabos de aço é feita da seguinte maneira:

Para os cabos da parte superior (Figura 33):

Tipo de aplicação do cabo: Serviços gerais de levantamento de carga

Fator de segurança: 6

Carga imposta ao cabo: $\frac{150 \times 2 + 50 + (634,82/9,81)}{2} = 207,355 \text{ kg}$

Carga real = Carga imposta $\times$ fator de segurança = $207,355 \times 6 = 1244,13 \text{ kg}$

De acordo com a Tabela cedida na página da SIVA, uma tabela de carga de ruptura, é uma opção viável utilizar o cabo:

3/16" (4,80mm) 6 $\times$ 25+AF

Para os cabos da parte inferior (Figura 34):

Tipo de aplicação do cabo: Serviços gerais de levantamento de carga

Fator de segurança: 6

Carga imposta ao cabo: $\frac{634,82}{9,81} = 64,712 \text{ kg}$

Carga real = Carga imposta $\times$ fator de segurança = $64,712 \times 5 = 323,56 \text{ kg}$

De acordo com a tabela de carga de ruptura, é uma opção viável utilizar o cabo:

3/32" (2,40mm) 6 $\times$ 7+AF

SELEÇÃO DO CONJUNTO RODA RODÍZIO

O aparelho, irá transladar em superfícies de concreto rústico, concreto liso, cerâmica e areia. De acordo com o peso do equipamento, 281,9kg, a carga de 300kg para cada plataforma móvel, dividido por quatro conjuntos roda rodízio, ter-se-á 220,48kg. Seguindo as tabelas de referências do fabricante Schioppa, 2003, a seleção indicada para o conjunto roda rodízio será:

- Designação da Roda: R 42 UPR
- Designação do Rodízio: GL 614 PN

4 POSSIBILIDADE DE APLICAÇÃO

Na empresa CVRD, Companhia Vale do Rio Doce, localizada em Vitória Espírito Santo, há um problema com os blocos de aço que constituem as paredes de um equipamento chamado Carro Grelha. Este equipamento e os blocos são mostrados nas Figuras 87 e 88.

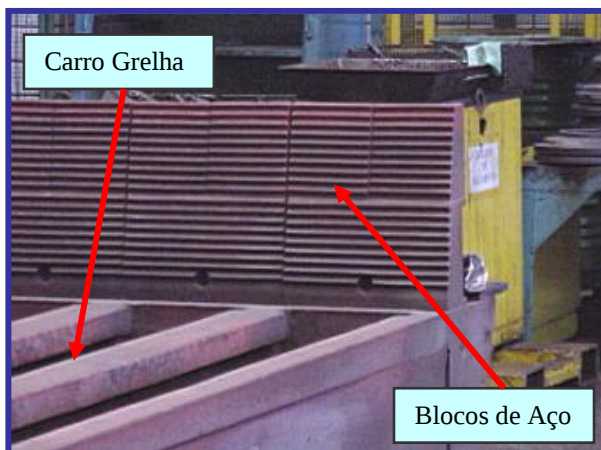


Figura 87 – Carro Grelha e os Blocos de Aço que constituem as paredes deste equipamento.



Figura 88 – Blocos de Aço das paredes do Carro Grelha.

O carro grelha é um equipamento que opera a altas temperaturas, é com o decorrer do tempo e do uso deste equipamento, efeitos de corrosão acentuada aparecem no topo dos blocos de aço das paredes do grelha, em detalhe nas figuras 89 e 90.



Figura 89 – Corrosões que aparecem no topo dos blocos de aço do carro grelha.



Figura 90 – Corrosões que aparecem no topo dos blocos de aço do carro grelha.

Quando os blocos atingem esse estado de desgaste, é hora de substituí-los por novos blocos, o que representa um gasto significativo. É desejo dessa companhia reduzir os gastos com essa substituição, uma maneira para tal seria reduzir os efeitos de corrosão sobre os blocos, ou ao menos retarda-los. Um revestimento superficial para estes blocos pode ser desenvolvido e aplicado no LPT, com o intuito de retardar ou se possível anular os efeitos de corrosão que tais blocos sofrem. A aplicação do revestimento poderá requerer o uso da técnica de plasma spray, caso

isto aconteça, o equipamento de movimentação vertical desempenhará um papel importante nesse processo, pois ele possibilitará com que toda a área do bloco seja atingida pelo jato de plasma.

5 CONCLUSÃO

Ao final deste trabalho de concepção e dimensionamento, o resultado obtido são dados, esquemas, e desenhos em terceira dimensão suficientes para produção dos desenhos técnicos para serem utilizados para a construção da parte mecânica deste projeto.

6 REFERÊNCIAS

Cunha, Alfredo Gonçalves, Técnica de Plasma Spray, 1990.

Shigley, Joseph Edward. **Elementos de Máquinas**. Rio de Janeiro: LTC, 1984.

Sanchotene, Fábio de Borba. **Controle Automático de Movimento de Maçarico de Plasma Spray**. 2001. Trabalho acadêmico – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.

Orientações e Tabelas Técnicas sobre os Cabos de Aço SIVA. SIVA – Indústria e Comércio de Artefatos de Arame e Aço. Disponível em www.siva.com.br/prod_cabos.php. Acesso em: 16 mar. 2004.

Schioppa Rodas e Rodízios do Brasil. Disponível em: www.schioppa.com.br/home01.html. Acessado em: 01 abr. 2004.

Mechanical Desktop Release 5 Tutorials, Autodesk, Inc. 2000.

PCL-812PG Enhanced Multi-Lab Card User's Manual, Advantech Co. Ltd. Novembro, 1996.

μline Manual do Inversor de Frequência, WEG Indústrias Ltda. 2001.