

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO PRELIMINAR DE UM PROTÓTIPO DE UM EQUIPAMENTO PARA
MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS PESADAS DE TAMANHO PADRONIZADO

por

Mauricio Lazzari

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Junho de 2015



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO PRELIMINAR DE UM PROTÓTIPO DE UM EQUIPAMENTO PARA
MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS PESADAS DE TAMANHO PADRONIZADO

por

Mauricio Lazzari

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Alcy Rodolfo dos Santos Carrara
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Projeto e Fabricação**

Orientador: Prof. Joyson Luiz Pacheco

Comissão de Avaliação:

Prof. Rodrigo Rossi

Prof. Patric Daniel Neis

Prof. Tiago Becker

Porto Alegre, 12 de junho de 2015.

LAZZARI, M. **Projeto preliminar de um protótipo de um equipamento para movimentação de cargas pesadas de tamanho padronizado**. 2015. 15 páginas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

RESUMO

Este trabalho apresenta um projeto preliminar de um manipulador para cargas do tipo contêineres, semirreboques e cargas similares, através da análise dos principais agentes causadores dos acidentes relatados pela literatura e mostra os processos de fabricação e materiais selecionados para a construção do protótipo. É aplicada a metodologia do projeto axiomático de Suh ao problema, de modo a levantar os dados importantes para o projeto e chegar a um conceito de dispositivo manipulador que reduza ou até elimine os agentes causadores de acidentes. É demonstrada, então, a metodologia de cálculo preliminar para dimensionamento do manipulador, baseada nas Normas Brasileiras aplicáveis e vigentes atualmente. A concepção do manipulador surgiu da solicitação da empresa Randon e, portanto respeitará às solicitações da mesma. Como resultado, tem-se um protótipo de um manipulador que foi construído, pré-testado e que deverá ser validado futuramente.

PALAVRAS-CHAVE: Movimentação de cargas, manipulador, projeto axiomático.

LAZZARI, M. **Preliminary design of a prototype of an equipment for manipulation of heavy cargos of standard sizes**. 2015. 15 pages. Monography (Final paper in Mechanical Engineering) – Mechanical Engineering Department, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

ABSTRACT

This work presents a preliminary design of a manipulator for cargos such as containers, semitrailer and similars, through the analysis of the leading causing agents related by the literature and shows the manufacture processes and materials selected for the construction of the prototype. It is applied the Axiomatic Design by Suh to the problem, in order to get important information to the design and come up with a concept of manipulation device which reduces or even eliminates the leading causes of the accidents. It is then demonstrated the preliminary calculation methodology of the manipulator, based on the applicable and valid Brazilian Standards. The concept of the manipulator arose from the solicitation of the company Randon e then it will respect its solicitation. As a result, there is a prototype of a manipulator which was constructed, pre-tested and which must be validated hereafter.

KEYWORDS: Cargo handling, manipulator, axiomatic design.

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
4. FUNDAMENTOS	3
5. METODOLOGIA APLICADA	4
5.1. Requisitos Operacionais	4
5.2. Conceito do Manipulador	5
5.3. Requisitos Dimensionais	6
6. PADRÕES DE SEGURANÇA ADOTADOS	7
7. RESULTADOS	7
7.1. Dimensionamento Geométrico	7
7.2. Análise Cinemática	7
7.3. Trava Automática	8
7.4. Dimensionamento Estrutural e Seleção de Componentes	9
7.4.1. <i>Elemento 1</i>	10
7.4.2. <i>Elemento 2</i>	11
7.4.3. <i>Eixos</i>	11
7.4.4. <i>Viga Principal</i>	11
7.4.5. <i>Seleção dos Rolamentos</i>	12
7.5. Fabricação	12
8. DISCUSSÃO	13
9. CONCLUSÕES	14
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
APÊNDICE I	16
APÊNDICE II	17
APÊNDICE III	18
ANEXO I	19
ANEXO II	20

1. INTRODUÇÃO

No cenário atual, a utilização de unidades de transporte tem sido cada vez mais fundamental para agilizar o transporte de produtos entre cidades, estados, países e até continentes. Sendo assim, surgiu um conceito chamado “unitização de cargas”, que se trata da utilização de embalagens que supram as necessidades do transporte, garantindo a integridade dos produtos e menores custos [Luiz 20007]. Como consequência, tem-se a utilização de elementos padronizados, como *pallets* e *containers* (ou contêineres), bem como equipamentos especiais para a manipulação destes itens. O tipo de carga a ser transportada, percurso, altura de elevação necessária, distância a ser percorrida, dimensões e peso da carga e ainda outros fatores são determinantes ao tipo de equipamento que deverá ser utilizado. Para cada caso, é fundamental a análise da viabilidade econômica e segurança de todo pessoal e equipamentos envolvidos, de modo a selecionar que tipo de operação será utilizado.

Contêineres são estruturas em forma de caixa, que podem ser transportadas em vagões, em chassis rodoviários, em navios ou em aeronaves [Ballou, 1993], podendo ser fabricados em madeira, alumínio ou aço [Keedi, 2000], no entanto este último é muito mais utilizado por ser menos oneroso e bastante resistente [Luiz, 2007]. São responsáveis por 95% do transporte mundial de cargas e na Europa, Ásia e Estados Unidos têm sido bastante utilizados na construção de residências, escritórios, galerias e restaurantes por serem facilmente encaixáveis e reduzirem em até 50% o tempo de execução de um projeto (Smaha, 2014).

Além disso, organizações como a *International Standards Organization* (ISO) e a *American Standards Association* (ASA) sugerem padrões dimensionais para contêineres, a fim de aumentar a eficiência do transporte de cargas. A estrutura de portos, de modo a atender a esta padronização, utiliza equipamentos como pórticos marítimos, *Straddle Carrier*, guindastes de pórtico com rodagem sobre pneus, guindastes de pórtico de pátio montado sobre trilhos, dentre outros [Bertolani e Leme, 2008]. No cenário rodoviário, o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), através da Resolução Nº 210, padroniza as dimensões máximas de cargas rodoviárias, sendo que semirreboques e caçambas estão enquadrados na mesma.

Dos estudos de Navarro, 2012, verifica-se que, em relação aos acidentes envolvendo movimentação de cargas, estão presentes problemas relacionados ao equipamento, fatores ambientais e operacionais. Dentre os principais aspectos estão: falta de inspeção no equipamento e acessórios, equipamento inapropriado para o tipo de carga, capacidade de carga dos acessórios e cabos subavaliados e inabilidade do operador.

Em geral, grandes portos possuem equipamentos seguros e complexos para a manipulação de contêineres e grandes cargas. Porém, em pátios industriais, isto não é tão comum, sendo preferidos sistemas de lingas de correntes e de cintas. Surge, então, a necessidade de melhoria nos dispositivos utilizados na indústria e em pequenos portos, a fim de suprir a demanda da padronização das cargas, reduzindo o número de acidentes. Já, para grandes portos, a necessidade é a redução dos custos operacionais e de manutenção, visto que equipamentos complexos resultam em altos custos para garantir a segurança necessária. Dessa forma, buscando apresentar uma possível solução para essa questão, é apresentado um dispositivo que pode ser acoplado aos equipamentos utilizados nos grandes e pequenos portos, assim como em pátios industriais.

A ideia deste trabalho surgiu de uma necessidade específica de um cliente (Grupo Randon), cuja necessidade era realizar o transporte de diversas caçambas de caminhão desde o pavilhão de fabricação até o caminhão que transportaria a caçamba. Fora visto então, que estas possuíam dimensões semelhantes a contêineres e semirreboques, havendo, então, a possibilidade de expandir a utilização do conceito para uma gama maior de aplicações, com apenas alguns ajustes de projeto. A Figura 1.1 mostra as estruturas em questão, onde é possível notar que, do ponto de vista de manipulação, são bastante semelhantes entre si.

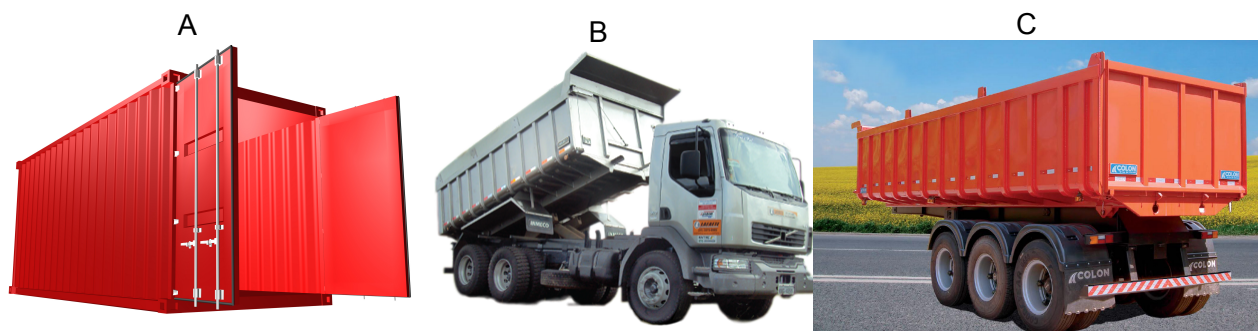


Figura 1.1 – A) Contêiner portuário, B) Caçamba basculante instalada sobre um caminhão e C) Semirreboque.

Para este trabalho, portanto, será proposto um conceito de dispositivo manipulador, bem como seu dimensionamento preliminar, auxiliado pela Norma Brasileira NBR 8400 – Cálculo de Equipamento para Levantamento e Movimentação de Cargas, como referência para uma maior segurança. Será adotada a capacidade nominal de 4 toneladas, que é peso estimado das caçambas basculantes, segundo a fabricante Randon e se indicará os processos de fabricação e materiais selecionados para a construção de um protótipo.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo propor um conceito de dispositivo manipulador que possa ser acoplado a estruturas comumente utilizadas na movimentação de cargas e que proporcione segurança à operação, através da redução ou eliminação dos principais agentes causadores de acidentes documentados na literatura aplicada. Além da segurança, o manipulador deve manter o custo operacional relativamente baixo e propiciar boa produtividade, para que sua implementação também seja viável em substituição de equipamentos demasiadamente caros. Para tanto, seguir-se-á a metodologia do Projeto Axiomático, a fim de se levantar os dados de entrada do projeto corretamente e se buscar uma solução prática. Pretende-se analisar possibilidades de melhorias e limites de aplicabilidade em demais áreas. Ademais, objetiva-se demonstrar o dimensionamento preliminar do mesmo, aplicando-se as recomendações de Normas Brasileiras vigentes e aplicáveis aos componentes mais críticos do equipamento e indicar os processos de fabricação e materiais utilizados na construção do protótipo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diversas metodologias de projeto podem ser aplicadas na fase do Projeto Conceitual, dentre elas pode-se destacar as metodologias de Yoshikawa (1989), Asimow (1968), Woodson (1966) e Suh (1990). Esta última, conhecida como Projeto Axiomático, foi escolhida por ser bastante direta, simples e tem se mostrado eficaz na literatura para a determinação de dados de entrada e criação de conceitos.

A metodologia de Suh é baseada na criação de soluções sintetizadas para satisfazer as necessidades observadas através do mapeamento das necessidades dos clientes em requisitos funcionais – metas a serem atingidas – e então em parâmetros de projeto – como as necessidades de projeto serão satisfeitas [Silva et al, 2010].

São definidos dois axiomas: Independência dos requisitos funcionais e minimização de informações. O primeiro axioma sugere a determinação de um grupo de requisitos funcionais completamente independentes entre si, enquanto o segundo sugere que a melhor solução será basicamente a mais simples dentre todas [Suh, 1995]. Os sistemas com muitos requisitos funcionais e componentes físicos podem ser muito complexos, o que aumenta a probabilidade de os requisitos funcionais não serem completamente satisfeitos. [Suh, 1998 e Kim, 2014].

Estes axiomas contribuem para o processo criativo, ajudando na elaboração e crítica a ideias que vão surgindo.

Os requisitos funcionais e os parâmetros de projeto devem ser hierarquizados e podem ser decompostos. Para isso, um determinado requisito funcional não pode ser decomposto sem que antes sejam desenvolvidos parâmetros de projeto referenciados no mesmo nível hierárquico [Calado, 2009].

Suh, 1990, apresenta a utilização do projeto axiomático na concepção de produtos, afirmando que os axiomas são medidas da qualidade do projeto e são aplicáveis a todas as áreas do mesmo. Lobo, 2000, aplica o método na fase de concepção e projeto, a fim de propor um meio de análise de aspectos ambientais no ciclo de vida de um produto.

4. FUNDAMENTOS

A fim de realizar um dimensionamento preliminar do dispositivo vão ser utilizadas equações simples da mecânica dos sólidos para estabelecer as dimensões de regiões onde a distribuição de tensão seja bem aproximada por elas. Esta condição de projeto elimina qualquer dimensionamento de regiões com furos, montagens, contatos, soldas, etc. e está de acordo com a proposta de um projeto preliminar. Após definido o conceito do equipamento de levantamento, um projeto mais rigoroso será realizado. Este projeto não é o objetivo do presente trabalho. As seguintes equações se fazem então necessárias:

$$\sigma_{flexão} = \frac{M(x) * c}{I} \quad (4.1)$$

$$\tau_s = \frac{V}{A} C_f \quad (4.2)$$

$$\sigma_{tração} = \frac{F}{A} \quad (4.3)$$

Onde $M(x)$ é o momento fletor como função de x , I é o momento de inércia de área da seção transversal resistente, $\sigma_{flexão}$ é a tensão de tração devido à flexão, c é a distância da fibra mais externa do perfil em relação à linha neutra da viga, τ_s é a tensão de cisalhamento puro, V é a força cisalhante, A é a área da seção transversal, C_f é o coeficiente de forma, que dá o valor do cisalhamento máximo na seção transversal, extraído da tabela apresentada no ANEXO I, $\sigma_{tração}$ é a tensão de tração pura e F é a força de tração.

A combinação das tensões atuando em diferentes direções dentro de um elemento infinitesimal será feita através da equação de Von Mises, expressa na Equação 4.4 abaixo.

$$\sigma_{eq} = \frac{\sqrt{2}}{2} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2) \right]^{1/2} = \frac{\sigma_{FALHA}}{FS} \quad (4.4)$$

Onde σ_{eq} é a tensão equivalente, σ_x , σ_y e σ_z são as tensões normais atuantes nas três possíveis direções, τ_{xy} , τ_{yz} e τ_{xz} são as tensões cisalhantes, σ_{FALHA} é a tensão na qual ocorre a falha do material, que, para este trabalho, será definida como sendo o limite de escoamento do mesmo e FS é o fator de segurança adotado.

Para os casos estudados neste trabalho, os elementos possuem um comprimento relativamente grande em relação à seção transversal, de modo que onde há flexão, esta é dominante frente aos outros esforços. Por este motivo, $\sigma_{flexão}$ pode ser diretamente comparada com σ_{adm} . Para os casos de cisalhamento puro, as Equações 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 se reduzem à Equação 4.5.

$$\sigma_{eq} = \tau_{xy} \sqrt{3} = \frac{V}{A} C_f \sqrt{3} = \frac{\sigma_{FALHA}}{FS} \quad (4.5)$$

Para vigas biapoiadas com uma carga concentrada atuando no centro da viga, o deslocamento máximo gerado é o dado pela Equação 4.6.

$$v_{max} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (4.6)$$

Onde E é o módulo de elasticidade do material utilizado e v_{max} é o deslocamento máximo, encontrado no centro da viga. Esta última é resultado da Teoria de Euler Bernoulli.

5. METODOLOGIA APLICADA

5.1. Requisitos Operacionais

Um projeto que diminui os danos causados por acidentes deve primeiramente reduzir, ou eliminar as fontes de risco. A fim de se determinar os parâmetros de projeto, pode-se estabelecer o diagrama de Suh mostrado na Figura 5.1.

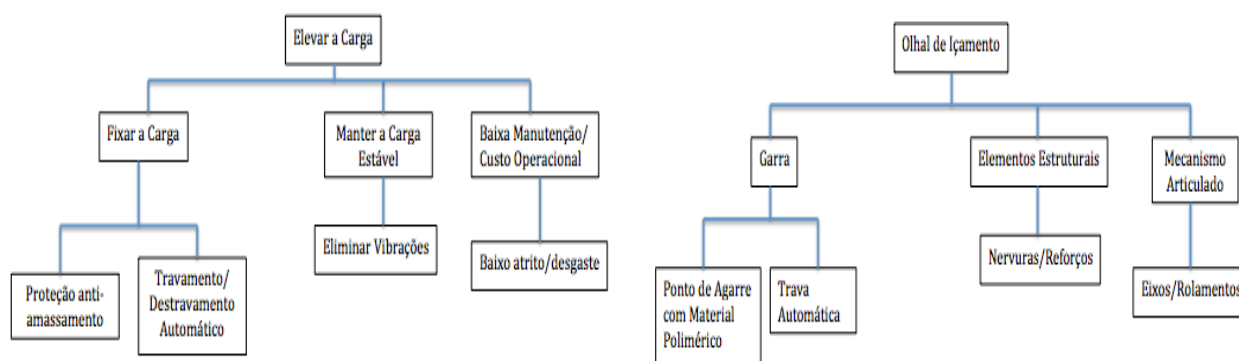


Figura 5.1 – Diagrama de Suh para o caso analisado

Através da elaboração do diagrama de Suh, podem-se perceber as seguintes características que deverão ser atendidas pelo dispositivo manipulador:

- **Menor nível de treinamento necessário:** O sucesso da operação dependerá menos das habilidades dos operadores, reduzindo riscos de acidentes por falta de atenção e imprudência. Isso pode ser atingido através do projeto de uma trava automática e de um mecanismo articulado que dependa o mínimo possível de habilidade do operador.
- **Maior vida útil:** Com menos peças suscetíveis ao desgaste, a manutenção preventiva torna-se menor e mais espaçada, reduzindo as chances de não ser corretamente executada. Este item pode ser atingido através do uso de eixos e rolamentos nas articulações.
- **Menor número de subsistemas possível:** Com menos subsistemas sendo utilizados, menor será o risco de uma pane ou algum acidente repentino. Também será menor o número de componentes a serem vistoriados e mais simples para o operador será o equipamento. Por exemplo, um equipamento eletropneumático requer certo nível de conhecimento por parte do operador e da equipe de manutenção. Um sistema mais simples e intuitivo e que não comprometa a segurança da operação é sempre preferível. Isto está relacionado ao uso de um sistema articulado com trava automática.
- **Menor quantidade de elementos a serem cuidados pela equipe de operação:** É bastante comum que ganchos, correntes e cintas falhem e causem acidentes, seja pelo método de amarração empregado, pelo desgaste das correntes, pelo rompimento das costuras das cintas, ou por que os ganchos não foram corretamente instalados [Navarro, 2012]. O sistema de garra com trava automática juntamente com os elementos estruturais reforçados previnem qualquer instabilidade ou falha semelhante.

- **Evitar danos à peça manipulada:** O conceito da “unitização de cargas” surgiu para reduzir o custo do transporte. Por este motivo, a embalagem dos componentes carregados não pode ser danificada pelo manipulador. Isto pode ser alcançado através da utilização de material polimérico nos pontos de contato, pois estes são mais dúcteis que o aço (material mais utilizado para contêineres, segundo Luiz, 2007).

5.2. Conceito do Manipulador

Uma observação importante para o manuseio de cargas é a posição do centro de massa. O centro de massa deve estar alinhado com o ponto de içamento, caso contrário, a carga tenderá a tombar, a não ser que o equipamento de sustentação compense o momento gerado pela descentralização do centro de massa.

Não existe uma solução única para o conceito do manipulador que atenda aos requisitos funcionais descritos no item 5.1 e muito menos haverá uma solução perfeita, que combine todos os atributos da melhor forma possível. Por isso, cabe ao engenheiro saber ponderar e decidir qual é a melhor solução. Para este problema surgiram os seguintes conceitos:

- **Conjunto de cintas de amarração com ganchos:** Conceito barato e leve. Proporciona facilidade de adaptação em guindastes e pórticos existentes por serem facilmente instalados nesses equipamentos, podendo ser intercambiáveis de maneira rápida. Por outro lado, o sucesso da operação está completamente nas mãos do operador, visto que os ganchos de fixação, os quais são presos aos olhais de içamento da carga devem ser travados manualmente.

- **Empilhadeira:** Conceito prático por permitir agilidade no percurso, permite que a carga se desloque livremente, sem depender do percurso pré-estabelecido pelos pórticos do local por trabalhar independentemente deles. Porém, necessita uma manutenção bastante rigorosa e depende muito da habilidade do operador para o sucesso da operação, uma vez que o risco de tombamento é bastante alto.

- **Levantador magnético:** Conceito muito prático e que pode ser adaptado facilmente a pórticos e pontes rolantes. Por outro lado, seu funcionamento depende muito da geometria a ser manipulada (chapa, tubo retangular, tubo redondo, etc), da espessura e do material destes componentes, que devem ser ferromagnéticos. Em geral, levantadores magnéticos funcionam melhor para superfícies planas de espessura considerável. Para se utilizar este conceito seria necessário, portanto, vistoriar as abas da carga a fim de garantir sua planicidade. Caso a vistoria falhe, o risco da operação tornar-se-á bastante elevado.

- **Gancho em U com acionamento pilotado:** Trata-se de um manipulador em forma de U, em que um sistema hidráulico ou pneumático seria acionado remotamente por controle para fazer o travamento e o destravamento da carga. É uma ideia bastante prática e segura, porém o custo operacional é bastante elevado pela necessidade de haver uma linha hidropneumática para alimentar o sistema. Também depende do treinamento do operador para que este saiba operar um sistema desses, visto que requer os cuidados de manutenção e aprendizado dos comandos.

- **Dispositivo tipo tenaz com trava:** O conceito é um conjunto de articulações projetado de modo a atender os movimentos de abertura e fechamento para encaixe e desencaixe do contêiner. Dependendo da configuração, a tendência natural pode ser de fechamento ou abertura, necessitando de um sistema de trava para contenção. É um conceito versátil, porém relativamente robusto. Reduz a necessidade de treinamento e cuidado por parte do operador, apresenta custo operacional baixo e proporciona boa segurança à operação. Por outro lado, o projeto do mesmo deve ser muito mais cuidadoso com relação a tolerâncias geométricas e é de fabricação mais complexa, visto que a montagem de componentes pesados só pode ser feita com auxílio de equipamentos específicos para a mesma. A Figura 5.2 mostra um exemplo de dispositivo tenaz.



Figura 5.2 – Tenaz mecânica fabricada pela empresa MTC (Fonte: Rudsul)

Após a análise das características listadas para cada conceito acima, o conceito escolhido é de uma tenaz mecânica com sistema de trava. No caso de contêineres, caçambas e semirreboques é interessante que a tenaz tenha a tendência natural do fechamento e que o peso da carga também favoreça essa tendência. A tendência natural de fechamento faz com que a trava automática não seja um dispositivo de segurança, pois a mesma apenas manterá o manipulador aberto. Com isso, caso a trava apresente alguma falha, a carga não corre o risco de cair, ou seja, a tendência de fechamento também atua como um sistema redundante.

Para a determinação do conceito da trava, uma observação à operação é que a mesma é cíclica: primeiramente, o dispositivo deve ser aberto para que se encaixe ao contêiner, após ser encaixado, deve fechar para poder suspender a carga; depois de posicionado no local desejado, o dispositivo deve ser aberto para liberação da carga e o mesmo estará pronto para manipular uma próxima carga.

Esse ciclo é importante, pois é possível que um sistema de trava sincronize o movimento. A cada vez que o dispositivo é posicionado sobre a carga, a trava pode ser acionada e trocar seu estado da posição aberta para a posição fechada automaticamente, possibilitando que o dispositivo possa ser operado a longas distâncias.

5.3. Requisitos Dimensionais

Para facilitar o transporte, aumentar a segurança e organizar o mercado, diversas embalagens possuem dimensões padronizadas. Contêineres, segundo Budson, 2015, possuem a largura padronizada em 2438 mm, independentemente do tipo e da capacidade do mesmo. O que varia de um modelo para o outro são as demais dimensões, capacidade e tara. As dimensões de caçambas de caminhões e semirreboques são regidas pela Resolução N° 210 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), 2006, que limita a largura máxima em 2600 mm. Essas dimensões devem ser consideradas para a adaptação do dispositivo em ambas as aplicações, desde que a capacidade de carga seja compatível. Como ambas as larguras são bastante semelhantes, é razoável que o dispositivo utilize pontos ao longo desta dimensão para o agarre. O único cuidado a ser tomado, é que o dispositivo seja posicionado sobre o centro de massa da carga, a fim de evitar que a mesma, ao ser içada, incline e ofereça risco à operação. Como é difícil saber exatamente onde se encontra o centro de massa da carga, o correto posicionamento do manipulador será inerentemente tentativo. Caso a carga incline ao ser içada, a mesma deverá ser colocada em repouso e, então, tentada uma nova posição, até que o ponto correto de içamento seja encontrado.

O projeto seguirá respeitando a capacidade de carga do requisito inicial, que gerou a ideia do conceito, que é de 4 toneladas. Vale ressaltar que caçambas, semirreboques e contêineres, se carregados, podem ultrapassar esta capacidade, portanto é fundamental dar atenção à capacidade de carga dos equipamentos utilizados nas operações de manipulação para evitar mau uso dos equipamentos. A largura adotada para projeto é de 2600 mm.

6. PADRÕES DE SEGURANÇA ADOTADOS

A NBR 8400, que trata exclusivamente do dimensionamento de equipamentos para movimentação de cargas, estabelece coeficientes a serem aplicados e valores de referência para serem seguidos, de modo que o equipamento não seja subdimensionado e nem demasiadamente superdimensionado, evitando grandes desperdícios de material sem que haja risco à operação. Estes coeficientes e valores de referência serão explícitos ao decorrer do dimensionamento estrutural, a fim de manter uma boa lógica de roteiro e consulta. Basicamente estes valores são: coeficientes dinâmicos, aplicados às cargas nominais estáticas, de modo a compensar efeitos dinâmicos como impactos e acelerações; minoração da resistência do material, que pode ser entendido como coeficiente de segurança e coeficientes de majoração de carga, definidos a partir da frequência e regime de operação do equipamento, que está relacionado com a vida em fadiga do material.

Os materiais adotados para este projeto serão os mais comumente utilizados na indústria, que possuem boa relação custo/resistência e que são citados pela norma referida. A tendência natural de fechamento, provida pela maneira como o sistema articulado está disposto, age como redundância em caso de falha de algum componente da trava, contribuindo para a segurança do equipamento.

7. RESULTADOS

7.1. Dimensionamento Geométrico

Tendo como restrição a distância de 2600 mm entre as abas da caçamba, um bom sistema de articulação que atenda a essa restrição é apresentado na Figura 7.1.

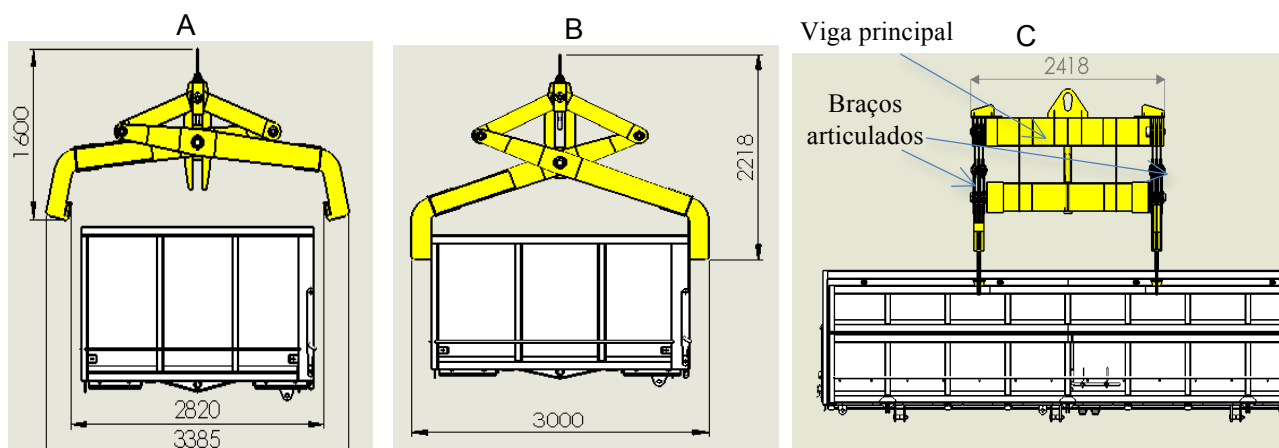


Figura 7.1 – A) Dispositivo totalmente aberto, B) Dispositivo totalmente fechado e C) Vista lateral do conceito do dispositivo projetado

O manipulador é composto por dois conjuntos de braços articulados, ou mecanismos articulados, unidos por duas vigas longitudinais, como pode ser visto na Figura 7.1c. A viga superior também é chamada de viga principal, por possuir um olhal central que sustentará todo o peso da carga e do manipulador e é por onde este será acoplado à ponte rolante ou ao pórtico. A configuração apresentada, devido à disposição das articulações propicia a tendência natural de fechamento, cuja importância foi ressaltada no item 5.2.

7.2. Análise Cinemática

O sistema de braços articulados é o que determinará o quanto o dispositivo abrirá e quais os efeitos causados por este movimento. Dependendo das restrições do local onde o

equipamento será operado, os efeitos cinemáticos podem ser uma importante restrição de projeto, tais como altura de elevação dos pórticos e pontes rolantes disponíveis no local, obstáculos do percurso, espaço lateral do ambiente, entre outros.

Percebe-se que neste sistema articulado, o movimento de abertura se traduz em uma redução da altura total do dispositivo e quanto maior essa abertura, mais fácil de encaixar o manipulador sobre a carga. Neste caso, uma folga dimensional de 220 mm já era suficiente para o encaixe perfeito na carga, dependendo o caso essa folga pode precisar ser ainda maior.

7.3. Trava Automática

A trava automática é o grande diferencial do conceito proposto e pode-se dizer que a definição do seu conceito é o maior desafio do projeto de um manipulador deste porte, visto que é este componente que cumprirá grande parte dos requisitos obtidos pelo diagrama de Suh.

O conceito proposto da trava é apresentado na Figura 7.2.

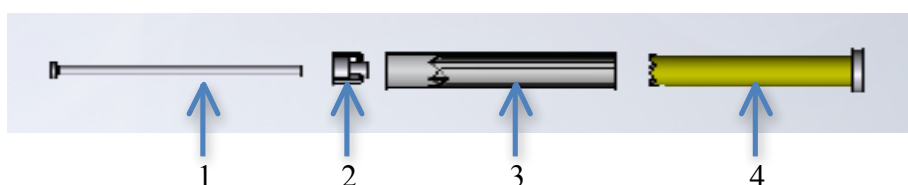


Figura 7.2 – Conceito da trava mecânica

O tubo superior da trava (3) é fixado na viga principal do dispositivo, enquanto o cilindro inferior (4) é fixado na viga inferior. O movimento de abre-e-fechar do manipulador fará com que o cilindro e o tubo ora se aproximem, ora se afastem, de forma que o cilindro inferior deslize por dentro do tubo superior. O cilindro inferior possui uma espécie de coroa na sua parte superior, que sustenta uma peça giratória com dentes (2) e o tubo superior possui ranhuras em sua superfície interna ora para guiar ora para travar a peça giratória. Ainda, após a peça giratória ser montada sobre o cilindro inferior, um batente (1) é afixado ao mesmo, o qual ora limita ora libera o movimento de (3) e (4).

A Figura 7.3 mostra a sequência de funcionamento da trava: o manipulador parte da posição fechada (A); começará a ser aberto (B) ao ser liberado sobre as abas do contêiner e, após a tenaz abrir o suficiente, a coroa do cilindro inferior sustentará a peça giratória (C); quando o dispositivo for içado, a coroa do cilindro inferior empurrará a peça giratória para cima, girando-a levemente (D), até que o movimento de giro da peça giratória seja bloqueado pelas ranhuras do tubo superior (E), travando o manipulador na posição aberta. Após ser posicionado sobre o contêiner, o manipulador se apoiará sobre as abas do mesmo, de modo que seja novamente aberto. Com isso, o tubo superior liberará a peça giratória para que a mesma gire levemente (F); quando o dispositivo for içado novamente, o tubo superior empurrará novamente a peça giratória, porém desta vez a mesma escapará por entre as ranhuras internas do mesmo (G), permitindo o fechamento do dispositivo.

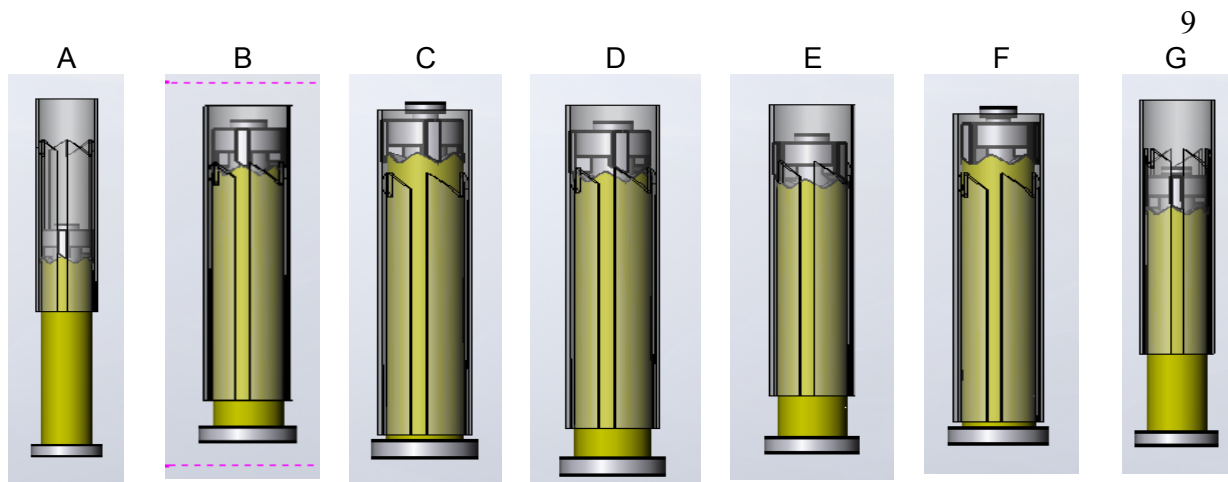


Figura 7.3 – Sequência de operação da trava mecânica

Este ciclo permite que nenhuma intervenção humana para fechar ou abrir o manipulador seja necessária e atende perfeitamente os trabalhos de carga e descarga. Para o funcionamento correto da trava, é necessário bastante cuidado na instalação desta no manipulador, pois se os componentes não ficarem alinhados corretamente, a trava não funcionará, tornando todo o manipulador inoperante. Lubrificação por graxa também é exigida para facilitar o movimento giratório existente e proteger o sistema de corrosão.

7.4. Dimensionamento Estrutural e Seleção de Componentes

A Figura 7.4 mostra o dispositivo em sua configuração final, cujos componentes críticos serão dimensionados neste trabalho. Para tanto, a capacidade considerada é de 4000 kg.



Figura 7.4 – Dispositivo manipulador de contêineres

Através da classificação do equipamento, a NBR 8400 sugere coeficientes que devem ser aplicados às cargas e à resistência mecânica dos materiais. A Norma considera os seguintes aspectos: Classe de utilização – refere-se a quantos ciclos de operação o equipamento será submetido; estado de carga – refere-se ao quão solicitado o equipamento será com relação a sua carga nominal e coeficiente dinâmico – coeficiente a ser aplicado às cargas devido a efeitos dinâmicos verticais, tais como choques e levantamentos bruscos da carga.

Para o referido projeto, serão adotados os seguintes valores: coeficiente dinâmico, $\psi = 1,15$. Este valor sugere que a carga a ser içada seja acrescida de 15% do seu valor nominal; coeficiente de majoração, $M_x = 1,2$, que depende da classe de utilização e do estado de carga e das condições de vento que o equipamento será submetido. Como o içamento de cargas deve ser sempre evitado quando o efeito do vento não for desprezível, este último não

foi considerado para a determinação deste parâmetro. Como última recomendação da Norma, as tensões atuantes não podem ser superiores a $\sigma_e/1,5$, sendo σ_e a tensão de escoamento do material sob um estado de tração simples. Este último coeficiente remete a um fator de segurança de 1,5.

Para equipamentos de movimentação de cargas, é bastante comum assumir o valor da aceleração gravitacional como 10 m/s^2 , ao invés do valor mais exato de $9,81 \text{ m/s}^2$, pois esta hipótese vai a favor da segurança e simplifica os cálculos.

Na Figura 7.5 são mostradas as dimensões que serão utilizadas para o cálculo dos esforços em cada componente e o diagrama de corpo livre dos braços articulados. Como o sistema é simétrico, pode-se analisar apenas uma das partes, conforme ilustrado.

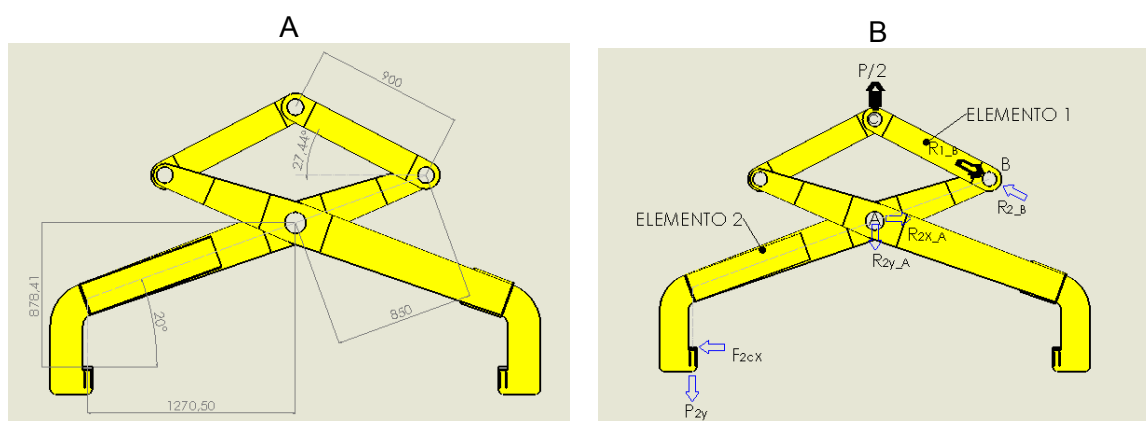


Figura 7.5 – A) Dimensões relevantes para cálculo de esforços e B) Modelo simplificado para análise de forças

Na Figura 7.5 acima, F_{2cx} é a força de contato em x atuando no elemento 2, P_{2y} é a porção do peso da carga atuando no elemento 2, R_{2y_A} é a força em y atuante no elemento 2, devido à articulação do ponto A, R_{2x_A} é a força em x atuante no elemento 2, devido à articulação do ponto A, R_{2_B} é a força atuante no elemento 2, devido à articulação do ponto B, R_{1_B} é a força atuante no elemento 1, devido à articulação em B. As forças R_{1_B} e R_{2_B} são iguais em módulo, atuam em sentidos contrários, pois são par ação e reação e atuam na direção do elemento 1, devido às condições geométricas do mecanismo articulado.

Através do procedimento de cálculo mostrado no APÊNDICE I, resultam as seguintes reações: $R_{2x_A} = 67881,67N$, $R_{2y_A} = 0$, $R_{2_B} = 29946,65N$, $F_{2cx} = 41304,2N$ e $R_{1_B} = 29946,65N$.

Estes resultados são de fundamental importância para o dimensionamento do dispositivo. A grande vantagem do conceito apresentado é a grande simplicidade em se extrair os esforços, pois o número de incógnitas de cada elemento é sempre igual ao número de equações de equilíbrio, simplificando a análise.

7.4.1. Elemento 1

O elemento 1 é submetido apenas ao esforço de tração, deste modo a seção transversal do perfil utilizado deve obedecer a relação expressa pela combinação das Equações 4.3 e 4.4, que resulta em uma área resistente mínima de $A = 179,68 \text{ mm}^2$, quando utilizado um material cuja tensão de escoamento é de $\sigma_e = 250 \text{ MPa}$. Devido a restrições impostas pela Análise Cinemática, para este componente foi escolhida uma chapa com seção transversal de $170 \times 9,525 \text{ mm}$, cuja área da seção transversal é $1619,25 \text{ mm}^2$. Esta área de seção resistente é maior do que a mínima exigida pelos cálculos a fim de compensar efeitos de concentração de tensões provenientes das uniões B e C.

7.4.2. Elemento 2

Através do procedimento descrito no APÊNDICE II, verifica-se que o perfil do elemento 2 deve obedecer à relação $\frac{I_{zz}}{c} = 111505,56 \text{ mm}^3$, para tanto, foi escolhida uma chapa de 12,7 mm de espessura com altura de 250 mm em A, onde o esforço de flexão é máximo, a fim de se cumprir o requisito de cálculo. Também foram adicionados reforços nas regiões A e B para compensar os efeitos de concentração de tensões.

7.4.3. Eixos

A boa prática do projeto mecânico sugere eliminar esforços de flexão onde possível, por isso, os eixos A ($D_A = 24,45 \text{ mm}$), B ($D_B = 16,25 \text{ mm}$) e C ($D_C = 15,6 \text{ mm}$) são projetados para suportarem cisalhamento puro. Desta maneira, uma análise ao diagrama de corpo livre de um eixo suportando esse tipo de carga leva à conclusão que os esforços internos, calculados no APÊNDICE I, quando aplicados na Equação 4.5 resultam nos diâmetros mínimos necessários indicados entre parênteses acima, para que não ocorra a falha dos mesmos.

A montagem dos eixos se dá através de rolamentos inseridos em buchas nas regiões A, B e C, interligando os braços do mecanismo articulado.

7.4.4. Viga Principal

A Viga Principal é a que sustentará todo o peso do dispositivo somado à carga. Sendo assim, é o último elemento a ser dimensionado. É o único elemento cujo peso do dispositivo é relevante. Para todos os outros, o coeficiente de segurança e as majorações das cargas previstas pela NBR 8400 são suficientes para o que o peso próprio seja desprezado.

Os elementos já dimensionados até esta etapa, com os perfis escolhidos somam em torno de 315 kg em cada lado do dispositivo, que devem ser adicionados ao peso da carga. Dessa maneira, assumindo-se a Viga Principal como uma viga biapoiada, seu diagrama de corpo livre seria o ilustrado na Figura 7.6.

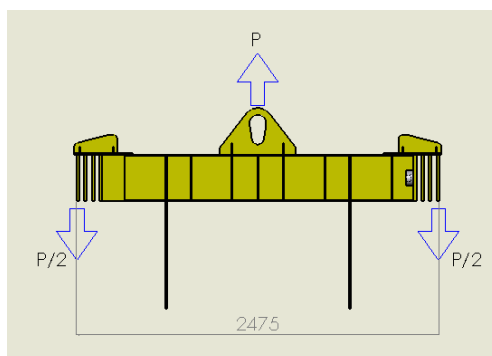


Figura 7.6 – Diagrama de Corpo Livre da Viga Principal

A NBR 8800, que trata sobre projetos de estruturas de aço, sugere que a deflexão máxima não ultrapasse o valor de $L/600$. Este valor servirá apenas como referência, pois o perfil deve ser verificado também pela NBR 8400. A Equação 4.6, ao ser igualada a $L/600$ e aplicando-se $P = (3150 + 40000) * 1,2 * 1,15 = 63894 \text{ N}$, resulta em um Momento de Inércia de Área igual a $I_{zz} = 24461917,78 \text{ mm}^4$, quando utilizado o aço ASTM A36. Consultando-se a Tabela de Bitolas comerciais de perfis laminados (ANEXO I), pode-se ver que o perfil mais leve e que atende ao Momento de Inércia requerido é o perfil W310x21.

A fim de verificar sua resistência segundo a NBR 8400, resolvem-se as Equações 4.1 e 4.4. O procedimento de cálculo indicado na seção 7.4.2 é bastante similar ao utilizado aqui, por esta razão este será suprimido desta vez. Como resultado da solução das equações para este caso, a tensão máxima é de 158,92 MPa, que resulta em um coeficiente de segurança de 1,57,

quando comparado ao limite de escoamento de 250Mpa do aço ASTM A36. Por este valor ser maior que 1,5, como sugerido pela NBR 8400, este perfil laminado pode ser utilizado.

7.4.5. Seleção dos Rolamentos

O cisalhamento suportado pelos eixos é transmitido através de rolamentos para os braços articulados, por isso, as cargas atuantes sobre os mesmos são as forças cisalhantes expressas no APÊNDICE I. Para cada mancal, utilizar-se-ão dois rolamentos rígidos de uma carreira de esferas blindados de forma simétrica, podendo-se, então, assumir que o esforço é dividido igualmente entre ambos. Consultando a Tabela de Rolamentos apresentada no ANEXO II, têm-se os rolamentos escolhidos segundo a Tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Seleção de Rolamentos

Eixo	Força Resultante	Rolamento
A	33940,84 N	6212
B	14973,33 N	6208
C	14973,33 N	6208

Devido à restrição dos rolamentos, os diâmetros dos eixos têm que ser adaptados de forma a obedecer aos diâmetros mínimos calculados no item 7.4.3 e que coincidam com os diâmetros internos dos rolamentos selecionados. Com isso, os diâmetros dos eixos aumentaram para 40 mm para os eixos B e C e 60 mm para o eixo A.

7.5. Fabricação

Taguchi, 1986, infere que ao invés de se investir fortemente nos processos de fabricação, a fim de assegurar que as diferenças entre projeto e produto sejam as menores possíveis, deve-se elaborar o projeto pensando na robustez do mesmo de forma a cobrir as variações que podem ocorrer durante o processo. Portanto, na etapa de análise estrutural já devem ser pensados os métodos de fabricação de cada peça, pois o dimensionamento extremamente refinado, às vezes, pode acarretar em um maior custo de fabricação. Desse modo, apesar de a NBR 8400 recomendar um fator de segurança de 1,5, não necessariamente ter-se-á esse fator para todos os componentes do equipamento, uma vez que é comum ter-se coeficientes de segurança maiores se isto acarretar na redução dos tempos de fabricação e de montagem.

A Figura 7.7 indica como cada um dos componentes do manipulador foi construído.

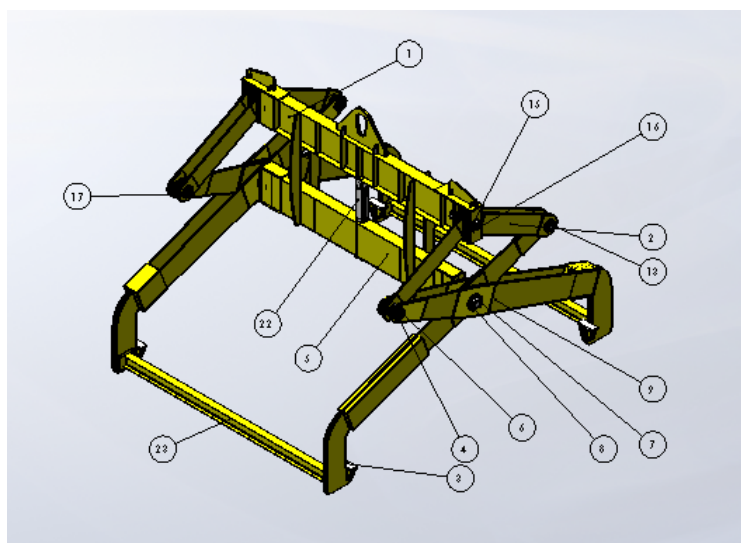


Figura 7.7 – Componentes do Manipulador

A fabricação de cada componente ocorreu da seguinte maneira:

- 1 – Viga Principal: Perfil I laminado, nervuras e olhais oxicortados em ASTM A36, acabamento superficial com Flap Disk, jateamento superficial, soldagem e pintura anticorrosiva.
- 2 – Braços Superiores: Chapas oxicortadas em ASTM A36 com acabamento superficial em Flap Disk, jateamento, soldagem e pintura anticorrosiva.
- 3 – Braço Inferior Simples: Chapas oxicortadas com perfis U de chapa dobrada para reforço e contrapeso em chapas de ASTM A36, acabamento superficial em Flap Disk, jateamento, soldagem e pintura anticorrosiva. Revestimento polimérico em PEAD para evitar danos ao aço do contêiner.
- 4 – Bucha Intermediária: Usinagem em SAE 1020.
- 5 – Viga Inferior: Perfil I laminado com fechamento em chapas oxicortadas em ASTM A36, acabamento superficial em Flap Disk, jateamento, soldagem e pintura anticorrosiva.
- 6 – Eixo Intermediário: Usinagem em SAE 1020.
- 7 – Eixo Inferior: Usinagem em SAE 1020.
- 8 – Bucha Inferior: Usinagem em SAE 1020.
- 9 – Braço Inferior Duplo: Chapas e nervuras oxicortadas em ASTM A36, acabamento superficial em Flap Disk, jateamento, soldagem e pintura anticorrosiva. Revestimento polimérico em PEAD para evitar danos ao aço do contêiner.
- 10 – Espaçador de Rolamentos Inferior: Usinagem em SAE 1020.
- 11 – Espaçador de Rolamentos Superior: Usinagem em SAE 1020.
- 12 – Bucha Intermediária Menor: Usinagem em SAE 1020.
- 13 – Eixo Intermediário Menor: Usinagem em SAE 1020.
- 14 – Bucha Superior: Usinagem em SAE 1020.
- 15 – Tampa Espaçadora Superior: Usinagem em SAE 1020.
- 16 – Eixo Superior: Usinagem em SAE 1020.
- 17 – Arruela do Eixo Intermediário: Usinagem em SAE 1020.
- 22 – Trava: Usinagem em SAE 1045 (para todos os componentes).
- 23 – Travamento: Perfil Laminado do Tipo I Americano e chapas oxicortadas em ASTM A36, acabamento superficial em Flap Disk, jateamento, soldagem e pintura anticorrosiva.

No APÊNDICE III podem ser encontradas fotos do processo de fabricação e da montagem do equipamento.

8. DISCUSSÃO

Neste projeto conceitual, a metodologia do Projeto Axiomático foi fundamental para a determinação dos dados de entrada do problema na forma de requisitos funcionais e de parâmetros de projeto. Problemas de engenharia raramente possuem solução única, portanto a necessidade da tomada de decisão a respeito de qual conceito dentre os gerados irá melhor atender às necessidades do cliente deve ser muito bem estudada e, para isso, a metodologia empregada se mostrou bastante eficaz.

No conceito da Tenaz Mecânica, pode-se perceber que o sistema de trava automática é parte essencial do equipamento, pois sem ele o equipamento não funciona. Por este motivo, grande parte do esforço criativo residiu neste componente e, caso o mesmo não fosse funcional, outro conceito dentre os propostos deveria ser escolhido.

Como mencionado no texto, para este projeto foram seguidas as requisições originais da empresa Randon, parâmetros iniciais podem variar devido às definições de projeto que venham do cliente. A principal modificação que pode ocorrer é o peso da carga, visto que há uma ampla variação que pode ocorrer. No entanto, esta e outras variações podem facilmente ser contempladas se seguidos os procedimentos aqui apresentados.

Como sugestão de continuidade deste projeto, sugere-se um estudo mais elaborado para a montagem do equipamento. Tendo em vista que os elementos são pesados e o alinhamento dos mesmos no momento da montagem é crítico, o projeto adequado de gabaritos para facilitar a montagem agilizará o processo e reduzirá esforços indesejados. Outra possibilidade para trabalhos futuros, seria realizar um estudo de melhoria no sistema de agarre, visando reduzir a restrição da largura da carga, mantendo o encaixe perfeito. Também seria interessante realizar um estudo mais elaborado acerca do Projeto de Tolerâncias, de Taguchi para poder prever melhor fatores fabris não cobertos pela Norma adotada.

9. CONCLUSÕES

A metodologia proposta foi adequada aos propósitos do projeto e a configuração física atendeu aos requisitos da boa prática industrial, visando processos de fabricação relativamente simples e baratos, mas sem abrir mão da qualidade necessária para garantir a funcionalidade do equipamento.

As normas e códigos de projeto são referências para o dimensionamento preliminar, ou seja, resultam em requisitos mínimos a serem cumpridos para garantir a integridade estrutural do dispositivo. Porém, é bastante comum que os elementos projetados sofram ajustes para facilitar a fabricação, a montagem e a operação sem comprometer a segurança e a confiabilidade necessária. Estes ajustes são, em grande parte, provenientes dos erros acumulados dos diferentes processos de fabricação utilizados.

O protótipo construído foi pré-testado, apresentando bom funcionamento do mecanismo de agarre e da trava. Testes mais realísticos do equipamento serão necessários no futuro para validação do projeto.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asimow, M.; **“Introdução ao Projeto.”**, Trad. José Wanderley Coêlho Dias, São Paulo, Editora Mestre Jou, 1968.

Ballou, R. H.; **“Logística Empresarial – Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física”**, Atlas, 1993.

Ballou, R. H.; **“Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial”**, Atlas, 2001.

Bertolani, A. D., Leme, F. L.; **“Carregamento de Contêineres em Navios”**, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2008.

Budson; **“Medidas de Containers”**, http://www.budsoncorporation.com/?page_id=76. Acessado em 25/03/2015.

Calado, R. D.; **“Conceitos do Projeto Axiomático e Desdobramento de Metas: Aplicação em uma Empresa de Setor de Serviços”**, Simpoi Anais, 2009.

Contran – Conselho Nacional de Trânsito; **“Resolução Nº 210”**, pp1, Novembro de 2006.

Keedi, S., Mendonça, P., C., C.; **“Transportes e Seguros no Comércio Exterior”**, São Paulo, Aduaneiras, 2000.

Kim, S. G.; **“Axiomatic Design”**, CIRP Encyclopedia of Production Engineering, pp 72-76, 2014.

Lobo, Y. R. O.; **“Proposta de Metodologias de Concepção e Projeto do Produto considerando os Aspectos Ambientais no Ciclo de Vida”**, Universidade Estadual de Campinas, 2000.

Luiz, G. C.; **“Unitização de Cargas com Ênfase em Pallets e Containers”**, Universidade da Região da Campanha, 2007.

Navarro, A. F.; **“Acidentes Causados Durante a Movimentação de Cargas: Uma Análise Estatística dos Acidentes”**, Universidade Federal Fluminense, 2012.

Rudsul, **“Tenazes”**, <http://www.rudsul.com.br>. Acessado em 01/06/2015.

Silva. L. C. A., Abreu, P. S., Neto, G. G. D, Dedini, F. G.; **“Aplicação da Metodologia de Projeto Axiomático em Sistemas de Controle”**, Nono Simpósio de Mecânica Computacional, 2010.

Smaha. R.; **“Containers, uma Alternativa Inteligente para a Construção Civil”**, <http://www.clickfozdoiguacu.com.br/pagina/containers-uma-alternativa-inteligente-para-a-construcao-civil>, 2014. Acessado em 10/03/2015.

Suh, N. P., **“The Principles of Design”**, Oxford University Press, 1990.

Suh, N. P., **“Designing-in of quality through axiomatic design”**, IEEE Transactions on Reliability, 1995.

Suh, N. P.; **“Axiomatic Design: Advances and Applications”**, Oxford University Press, 2001.

Taguchi, G.; **“Introduction to quality engineering”**, Tokyo Asian Productivity Organization, 1986.

Woodson, T. T.; **“Introduction to Engineering Design”**, New York, mc-Graw Hill Book Company, 1966.

Yoshikawa, H. **“Design Philosophy: the state of the art”**, *CIRP Annals*, v.38, nº2, pp. 579-586, 1989.

APÊNDICE I – CÁLCULO DAS REAÇÕES DO MECANISMO ARTICULADO

Aplicando as equações de equilíbrio estático ao elemento 2 do diagrama de corpo livre da Figura 7.5, têm-se:

$$-F_{2cx} + R_{2x_A} - R_{2_B} \cos 27,44 = 0 \quad (\text{A1.1})$$

$$-P_{2y} - R_{2y_A} + R_{2_B} \sin 27,44 = 0 \quad (\text{A1.2})$$

$$R_{2_B} * 0,85 * \sin(27,44 + 20) + P_{2y} * 1270,5 - F_{2cx} * 878,41 = 0 \quad (\text{A1.3})$$

Nas equações acima, o somatório de momentos foi tomado com relação ao ponto A da Figura 7.5.

Como o olhal de içamento é livre para sofrer rotações no gancho que içará o dispositivo, se torna obrigatório que o centro de massa da carga somada ao dispositivo esteja localizado abaixo do olhal, caso contrário o conjunto sofrerá inclinação durante a operação. Este fato é devido a não-resistência de momento do sistema de fixação no gancho. Com isso, é razoável assumir que o peso da carga será uniformemente distribuído nas quatro garras do manipulador, ou seja:

$$P_{2y} = \frac{40000}{4} \psi * M_x = 13800N \quad (\text{A1.4})$$

Aplicando-se novamente as equações de equilíbrio estático, porém agora ao elemento 1 da Figura 7.5, obtém-se:

$$\frac{P}{2} - R_{1_B} \sin 27,44 = 0 \quad (\text{A1.5})$$

Resolvendo-se o sistema de Equações A1.1, A1.2, A1.3, A1.4 e A1.5, têm-se que:

$$R_{2x_A} = 67881,67N \quad (\text{A1.6})$$

$$R_{2y_A} = 0 \quad (\text{A1.7})$$

$$R_{2_B} = 29946,65N \quad (\text{A1.8})$$

$$F_{2cx} = 41304,2N \quad (\text{A1.9})$$

$$R_{1_B} = 29946,65N \quad (\text{A1.10})$$

APÊNDICE II – DIMENSIONAMENTO DO ELEMENTO 2

O elemento 2 pode ser aproximado como uma viga sobre flexão pura. Para simplificar a análise, pode-se utilizar um sistema de referência local, onde o eixo x' estaria alinhado com o eixo da viga, ou seja, este sistema corresponde ao sistema XY global rotacionado em 20° no sentido anti-horário. Com isso, podemos escrever a função das cargas atuantes da forma:

$$\begin{aligned} q(x') = & (Fc_x \sin 20 - P_y \cos 20)(x')^{-1} \\ & - (R_{2y_A} \cos 20 + R_{2x_A} \sin 20) \left\langle x' - \frac{1270,5}{\cos 20} \right\rangle^{-1} \\ & + (Fc_x \cos 20 + P_y \sin 20) * 390,90(x')^{-2} \end{aligned} \quad (A2.1)$$

Escrevendo-se o esforço cisalhante e o momento fletor como funções de singularidade ao longo do comprimento da viga, têm-se que:

$$\begin{aligned} V(x') = & -(Fc_x \sin 20 - P_y \cos 20)(x')^0 \\ & + (R_{2y_A} \cos 20 + R_{2x_A} \sin 20) \left\langle x' - \frac{1270,5}{\cos 20} \right\rangle^0 \\ & - (Fc_x \cos 20 + P_y \sin 20) * 390,90(x')^{-1} \end{aligned} \quad (A2.2)$$

$$\begin{aligned} M(x') = & (Fc_x \sin 20 - P_y \cos 20)(x')^1 \\ & - (R_{2y_A} \cos 20 + R_{2x_A} \sin 20) \left\langle x' - \frac{1270,5}{\cos 20} \right\rangle^1 \\ & + (Fc_x \cos 20 + P_y \sin 20) * 390,90(x')^0 \end{aligned} \quad (A2.3)$$

Analisando-se as Equações A.2.2 e A.2.3 acima, observa-se que o momento fletor máximo ocorre quando o cisalhamento for nulo, ou seja, no ponto A. Aplicando o valor da coordenada x' referente a este ponto na Equação A2.3, obtém-se o momento fletor máximo dado pela Equação A2.4:

$$M_{2max} = 18584,26Nm \quad (A2.4)$$

Combinando-se a Equação A2.4 com as Equações 4.1 e 4.4 e considerando-se o fator de segurança de 1,5 sugerido pela NBR 8400, determina-se que o elemento 2 deve possuir uma geometria que obedeça à relação expressa pela Equação A.2.5:

$$\frac{I}{c} = \frac{M_{2max}}{\sigma_e} * 1,5 = 111505,56 \text{ mm}^3 \quad (A2.5)$$

APÊNDICE III – FOTOS DA FABRICAÇÃO



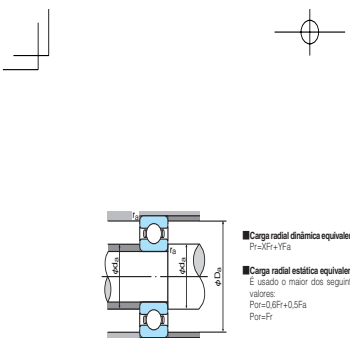
A3.1 – A) Processo de montagem, B) Dispositivo montado, C) Mecanismo articulado, D) Pintura do manipulador, E) Sistema de trava automática instalado e F) Teste funcional do protótipo

ANEXO I – A) TABELA DE BITOLAS DE PERFIS I LAMINADOS E B) TABELA DE COEFICIENTES DE FORMA PARA CISALHAMENTO

A

BITOLA mm x kg/m		Massa Linearr kg/m	d mm	b ₁ mm	ESPESSURA			d'	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r ₁ cm	I _x cm ⁴	ESBELTEZ		C _x cm ³	u m ² /m	BITOLA mm x kg/m
					t ₁ mm	t ₂ mm	h mm			I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm	Z _y cm ³			ABA - λ ₁ b ₁ /2t ₁	ALMA - λ ₂ d'/A			
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	2,60	1,72	10,20	27,49	4,181	0,67	W 150 x 13,0	
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48	6,683	0,69	W 150 x 18,0	
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1.229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48	20,417	0,88	W 150 x 22,5 (H)	
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1.384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48	10,206	0,69	W 150 x 24,0	
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1.739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94	30,277	0,90	W 150 x 29,8 (H)	
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2.244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,64	14,67	39,930	0,91	W 150 x 37,1 (H)	
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1.305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44	8,222	0,77	W 200 x 15,0	
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1.686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31	11,098	0,79	W 200 x 19,3	
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2.029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42	13,868	0,79	W 200 x 22,5	
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2.611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,65	7,92	29,34	32,477	0,92	W 200 x 26,6	
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3.168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50	40,822	0,93	W 200 x 31,3	
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3.437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90	69,502	1,03	W 200 x 35,9 (H)	
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4.114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86	83,948	1,04	W 200 x 41,7 (H)	
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4.543	447,6	8,81	495,3	1.535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,36	141,342	1,19	W 200 x 46,1 (H)	
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5.298	514,4	8,90	572,5	1.784	174,9	5,16	265,8	5,61	33,34	8,10	19,85	166,710	1,19	W 200 x 52,0 (H)	
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4.977	488,0	8,55	551,3	1.673	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28	155,075	1,20	HP 200 x 53,0 (H)	
W 200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	6.140	584,8	8,99	655,9	2.041	199,1	5,18	303,0	5,64	47,69	7,22	17,32	195,418	1,20	W 200 x 59,0 (H)	
W 200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7.660	709,2	9,17	803,2	2.537	246,3	5,28	374,5	5,70	81,66	5,92	15,80	249,976	1,22	W 200 x 71,0 (H)	
W 200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9.498	855,7	9,26	984,2	3.139	300,4	5,32	458,7	5,77	142,19	5,07	12,06	317,844	1,23	W 200 x 86,0 (H)	
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2.291	182,6	9,96	211,0	91	18,1	1,99	28,8	2,48	2,54	9,53	45,92	13,735	0,88	W 250 x 17,9	
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2.939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4	2,54	4,77	7,39	37,97	18,629	0,89	W 250 x 22,3	
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	3.473	270,2	10,31	311,1	149	29,3	2,14	46,4	2,58	7,06	6,07	36,10	22,955	0,89	W 250 x 25,3	
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	4.046	311,2	10,51	357,3	178	34,8	2,20	54,9	2,62	10,34	5,10	34,38	27,636	0,90	W 250 x 28,4	
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	4.937	382,7	10,83	428,5	473	64,8	3,35	99,7	3,86	10,44	8,02	36,03	73,104	1,07	W 250 x 32,7	
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	6.057	462,4	11,05	517,8	594	80,8	3,46	124,1	3,93	17,63	6,56	33,27	93,242	1,08	W 250 x 38,5	
W 250 x 44,8	44,8	266	148	7,6	13,0	240	220	57,6	7.158	538,2	11,15	606,3	704	95,1	3,50	146,4	3,96	27,14	5,69	28,95	112,398	1,09	W 250 x 44,8	
HP 250 x 62,0 (H)	62,0	246	256	10,6	10,7	225	201	79,6	8.728	709,6	10,47	790,5	2.995	234,0	6,13	357,8	6,89	33,46	11,96	19,10	417,130	1,47	HP 250 x 62,0 (H)	
W 250 x 73,0 (H)	73,0	253	254	8,6	14,2	225	201	92,7	11.257	899,9	11,02	983,3	3.880	305,5	6,47	463,1	7,01	56,94	8,94	23,33	552,900	1,48	W 250 x 73,0 (H)	
W 250 x 80,0 (H)	80,0	256	255	9,4	15,6	225	201	101,9	12.550	980,5	11,10	1.088,7	4.313	338,3	6,51	513,1	7,04	75,02	8,17	21,36	622,878	1,49	W 250 x 80,0 (H)	
HP 250 x 85,0 (H)	85,0	254	260	14,4	14,4	225	201	108,5	12.280	966,9	10,64	1.093,2	4.225	325,0	6,24	499,6	7,00	82,07	9,03	13,97	605,403	1,50	HP 250 x 85,0 (H)	
W 250 x 89,0 (H)	89,0	260	256	10,7	17,3	225	201	113,9	14.237	1.095,1	11,18	1.224,4	4.841	378,2	6,52	574,3	7,06	102,81	7,40	18,82	712,351	1,50	W 250 x 89,0 (H)	
W 250 x 101,0 (H)	101,0	264	257	11,9	19,6	225	201	128,7	16.352	1.238,8	11,27	1.395,0	5.549	431,8	6,57	656,3	7,10	147,70	6,56	16,87	828,031	1,51	W 250 x 101,0 (H)	
W 250 x 115,0 (H)	115,0	269	259	13,5	22,1	225	201	146,1	18.920	1.406,7	11,38	1.597,4	6.405	494,6	6,62	752,7	7,16	212,00	5,86	14,87	975,265	1,53	W 250 x 115,0 (H)	
W 310 x 21,0	21,0	303	101	5,1	5,7	292	272	27,2	3.776	249,2	11,77	291,9	98	19,5	1,90	31,4	2,42	3,27	8,86	53,25	21,628	0,98	W 310 x 21,0	
W 310 x 23,8	23,8	305	101	5,6	6,7	292	272	30,7	4.346	285,0	11,89	333,2	116	22,9	1,94	36,9	2,45	4,65	7,54	48,50	25,594	0,99	W 310 x 23,8	
W 310 x 28,3	28,3	309	102	6,0	8,9	291	271	36,5	5.500	356,0	12,28	412,0	158	31,0	2,08	49,4	2,55	8,14	5,73	45,20	35,441	1,00	W 310 x 28,3	
W 310 x 32,7	32,7	313	102	6,6	10,8	291	271	42,1	6.570	419,8	12,49	485,3	192	37,6	2,13	59,8	2,58	12,91	4,72	41,12	43,612	1,00	W 310 x 32,7	
W 310 x 38,7	38,7	310	165	5,8	9,7	291	271	49,7	8.581	553,6	13,14	615,4	727	88,1	3,82	134,9	4,38	13,20	8,51	46,66	163,728	1,25	W 310 x 38,7	
W 310 x 44,5	44,5	313	166	6,6	11,2	291	271	57,2	9.997	638,8	13,22	712,8	855	103,0	3,87	158,0	4,41	19,90	7,41	41,00	194,433	1,26	W 310 x 44,5	
W 310 x 52,0	52,0	317	167	7,6	13,2	291	271	67,0	11.909	751,4	13,33	842,5	1.026	122,9	3,91	188,8	4,45	31,81	6,33	35,61	236,422	1,27	W 310 x 52,0	
HP 310 x 79,0 (H)	79,0	299	306	11,0	11,0	277	245	100,0	16.316	1.091,3	12,77	1.210,1	5.258	343,7	7,25	525,4	8,20	46,72	13,91	22,27	1.089,258	1,77	HP 310 x 79,0 (H)	
HP 310 x 93,0 (H)	93,0	303	308	13,1	13,1	277	245	119,2	19.682	1.299,1	12,85	1.450,3	6.387	414,7	7,32	635,5	8,26	77,33	11,76	18,69	1.340,320	1,78	HP 310 x 93,0 (H)	
W 310 x 97,0 (H)	97,0	308	305	9,9	15,4	277	245	123,6	22.284	1.447,0	13,43	1.594,2	7.286	477,8	7,68	725,0	8,38	92,12	9,90	24,77	1.558,682	1,79	W 310 x 97,0 (H)	
W 310 x 107,0 (H)	107,0	311	306	10,9	17,0	277	245	136,4	24.839	1.597,3	13,49	1.768,2	8.123	530,9	7,72	806,1	8,41	122,86	9,00	22,48	1.754,271	1,80	W 310 x 107,0 (H)	
HP 310 x 110,0 (H)	110,0	308	310	15,4	15,5	277	245	141,0	23.703	1.539,1	13,97	1.730,6	7.707	497,3	7,39	763,7	8,33	125,66	10,00	15,91	1.646,104	1,80	HP 310 x 110,0 (H)	
W 310 x 117,0 (H)	117,0	314	307	11,9	18,7	277	245	149,9	27.563	1.755,6	13,56	1.952,6	9.024	589,9	7,76	893,1	8,44	161,61	8,21	20,55	1.965,950	1,80	W 310 x 117,0 (H)	
HP 310 x 125,0 (H)	125,0	312	312	17,4	17,4	277	245	159,0	27.076	1.735,6	13,05	1.963,3	8.823	565,6	7,45	870,6	8,38	177,98	8,97	14,09	1.911,029	1,81	HP 310 x 125,0 (H)	
W 360 x 32,9	32,9	349	127	5,8	8,5	332	308	42,1	8.358	479,0	14,09	547,6	291	45,9	2,63	72,0	3,20	9,15	7,47	53,10	84,111	1,17		

ANEXO II – TABELA DE ROLAGENTOS RÍGIDOS DE ESFERAS

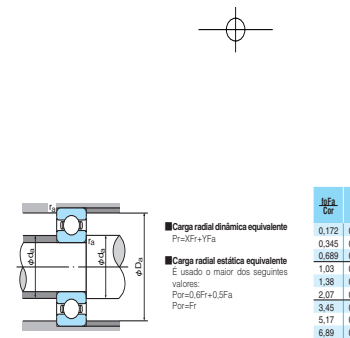


NACHI

■ Carga radial dinâmica equivalente
Pr=3F_r+YFa

■ Carga radial estática equivalente
E usado o maior dos seguintes valores:
Por=0,6F_r+0,5Fa
Por=Fr

Y _{Fr}	e	F _r /F _t ≤ e		F _r /F _t > e	
		X	Y	X	Y
0,172	0,19	1	0	0,56	1,99
0,345	0,22	1	0	0,56	1,99
0,689	0,26	1	0	0,56	1,99
1,03	0,28	1	0	0,56	1,99
1,38	0,30	1	0	0,56	1,45
2,07	0,34	1	0	0,56	1,31
3,45	0,38	1	0	0,56	1,15
5,17	0,42	1	0	0,56	1,04
6,89	0,44	1	0	0,56	1,00



NACHI

■ Carga radial dinâmica equivalente
Pr=3F_r+YFa

■ Carga radial estática equivalente
E usado o maior dos seguintes valores:
Por=0,6F_r+0,5Fa
Por=Fr

Y _{Fr}	e	F _r /F _t ≤ e		F _r /F _t > e	
		X	Y	X	Y
0,172	0,19	1	0	0,56	2,30
0,345	0,22	1	0	0,56	1,99
0,689	0,26	1	0	0,56	1,71
1,03	0,28	1	0	0,56	1,55
1,38	0,30	1	0	0,56	1,45
2,07	0,34	1	0	0,56	1,31
3,45	0,38	1	0	0,56	1,15
5,17	0,42	1	0	0,56	1,04
6,89	0,44	1	0	0,56	1,00

1N=0,102kgf

Capacidade de carga dinâmica Cr (N)	Capacidade de carga estática Cor (N)	Fator fo	Limite de Rotação (min ⁻¹)			Dimensões internas e de raio (mm)			Massa (kg)	Rolamento	
			Lubrificação com graxa			Lubrificação em óleo	da (mín.)	Da (máx.)			ra (máx.)
			Aberto, ZE, ZZE, NSE, ZNSE	Aberto, ZE	Aberto, ZE						
17900	9750	13,1	12000	8200	14000	34	52	1,0	0,175	62/28	
26800	14000	12,4	11000	7500	13000	35	61	1,0	0,287	63/28	
5350	3800	16,4	15000	9000	18000	32	40	0,3	0,026	6806	
7250	5000	15,8	14000	8500	17000	32	45	0,3	0,045	6906	
9950	6550	15,4	13000	—	15000	35	50	0,3	0,085	16006	
13200	8300	14,8	13000	8000	15000	35	50	1,0	0,117	6006	
19500	11300	13,9	11000	7500	13000	36	56	1,0	0,199	6206	
26700	15000	13,2	10000	6700	12000	37	65	1,0	0,346	6306	
22400	13100	13,6	11000	7100	12000	38	59	1,0	0,230	62/32	
30000	16200	12,7	9500	6500	11000	39	68	1,0	0,382	63/32	
4750	3800	16,4	14000	7600	16000	37	45	0,3	0,029	6807	
10400	7150	15,6	12000	7500	15000	39	51	0,6	0,073	6907	
11700	8150	15,6	12000	—	14000	40	57	0,6	0,110	16007	
16000	10300	14,8	12000	6800	14000	40	57	1,0	0,156	6007	
25700	15300	13,8	9800	6300	11000	42	65	1,0	0,288	6207	
33500	19200	13,2	8800	6000	10000	44	71	1,5	0,457	6307	
5950	4900	16,2	12000	6700	14000	42	50	0,3	0,033	6808	
13700	9950	15,8	11000	6300	13000	44	58	0,6	0,108	6908	
11100	8550	16,1	10000	—	12000	45	63	0,3	0,125	16008	
16800	11500	15,3	10000	6100	12000	45	63	1,0	0,194	6008	
29100	17900	14,0	8700	5600	10000	47	73	1,0	0,366	6208	
49500	24100	13,2	7800	5300	9200	49	81	1,5	0,633	6308	
5350	4900	16,1	11000	6000	13000	47	56	0,3	0,040	6809	
14100	10900	16,1	10000	5600	12000	49	64	0,6	0,122	6909	
12900	10500	16,2	9200	—	11000	52	68	0,6	0,170	16009	
20300	15300	15,3	9200	5400	11000	50	70	1,0	0,246	6009	
32500	20500	14,1	7800	5300	9300	52	78	1,0	0,407	6209	
53000	32000	13,1	7000	4800	8200	54	91	1,5	0,833	6309	
6400	5800	16,1	10000	5300	12000	52	63	0,3	0,052	6810	
14500	11700	16,1	9500	5300	11000	54	68	0,6	0,125	6910	
16100	13100	16,1	8500	—	10000	57	73	0,6	0,180	16010	
21800	16600	15,6	8500	5000	10000	55	75	1,0	0,264	6010	
35000	23200	14,4	7100	4800	8600	57	83	1,0	0,463	6210	
62000	38000	13,1	6400	4300	7500	60	100	2,0	1,07	6310	

1N=0,102kgf

Capacidade de carga dinâmica Cr (N)	Capacidade de carga estática Cor (N)	Fator fo	Limite de Rotação (min ⁻¹)			Dimensões internas e de raio (mm)			Massa (kg)	Rolamento	
			Lubrificação com graxa			Lubrificação em óleo	da (mín.)	Da (máx.)			ra (máx.)
			Aberto, ZE, ZZE, NSE, ZNSE	Aberto, ZE	Aberto, ZE						
8800	8100	16,2	8700	—	10000	57	70	0,3	0,083	6811	
16000	13200	16,2	8200	—	9600	60	75	1,0	0,177	6911	
15200	13500	16,5	7700	—	9000	62	83	0,6	0,260	16011	
28300	21300	15,4	7700	4500	9000	61	84	1,0	0,384	6011	
43500	29300	14,4	6400	4300	7700	64	91	1,5	0,607	6211	
71500	44500	13,1	5800	4000	6800	65	110	2,0	1,37	6311	
15200	12600	16,3	8000	—	9500	62	76	0,3	0,106	6812	
15200	12600	16,5	7600	—	9000	65	80	1,0	0,191	6912	
16200	14300	16,5	7100	—	8500	67	88	0,6	0,280	16012	
29400	23200	15,5	7100	4100	8500	66	89	1,0	0,418	6012	
52500	36000	14,3	6000	3800	7100	69	101	1,5	0,783	6212	
82000	52000	13,2	5400	3600	6300	72	118	2,0	1,70	6312	
11900	11500	16,2	7500	—	8700	69	81	0,6	0,125	6813	
17400	16000	16,5	7100	—	8500	70	85	1,0	0,200	6913	
20500	18600	16,4	6700	—	8000	72	93	0,6	0,300	16013	
30500	25200	15,7	6700	4000	8000	71	94	1,0	0,438	6013	
57000	40000	14,4	5500	3600	6500	74	111	1,5	0,990	6213	
92500	59500	13,2	4900	3400	6000	77	128	2,0	2,08	6313	
12100	11900	16,1	7000	—	8100	74	86	0,6	0,135	6814	
23700	21100	16,3	6500	—	7700	75	95	1,0	0,327	6914	
26800	23600	16,2	6100	—	7100	77	103	0,6	0,433	16014	
38000	31000	15,6	6100	3600	7100	76	104	1,0	0,607	6014	
62000	44000	14,4	5100	3400	6300	79	116	1,5	1,07	6214	
104000	68000	13,2	4600	3200	5400	82	138	2,0	2,52	6314	
12500	12800	16,0	6500	—	7600	79	91	0,6	0,145	6815	
20800	19700	16,5	6200	—	7200	80	100	1,0	0,345	6915	
27600	25300	16,4	5700	—	6700	82	108	0,6	0,457	16015	
39500	33500	15,7	5700	3400	6700	81	109	1,0	0,645	6015	
69000	49500	14,7	4800	3200	5600	84	121	1,5	1,18	6215	
113000	77000	13,2	4300	2900	5700	87	148	2,0	3,02	6315	
12700	13300	15,9	6000	—	7100	84	96	0,6	0,155	6816	
27600	25300	16,4	5700	—	6700	85	105	1,0	0,363	6916	
32000	29600	16,4	5300	—	6300	87	118	0,6	0,597	16016	
47500	39500	15,6	5300	—	6300	86	119	1,0	0,855	6016	
72500	53000	14,6	4500	3000	5300	90	130	2,0	1,40	6216	
123000	86500	13,2	4000	2800	4800	92	158	2,0	3,59	6316	

01深溝玉.indd 146

2007/08/22 16:27:52

01深溝玉.indd 148

2007/08/22 16:27:54