



**Cristiano Gabriel Reghelin**

**APLICAÇÃO DE UMA EQUAÇÃO PARA ANÁLISE  
ERGONÔMICA DE UM DISPOSITIVO DE MOVIMENTAÇÃO  
DE MATERIAIS**

**Horizontina**

**2013**

**Cristiano Gabriel Reghelin**

**APLICAÇÃO DE UMA EQUAÇÃO PARA ANÁLISE  
ERGONÔMICA DE UM DISPOSITIVO DE MOVIMENTAÇÃO  
DE MATERIAIS**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Richard Thomas Lermen, Doutor.

**Horizontina**

**2013**

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:**

**“Aplicação de uma Equação para Análise Ergonômica de um Dispositivo de  
Movimentação de Materiais”**

**Elaborada por:**

**Cristiano Gabriel Reghelin**

como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 28/11/2013  
Pela Comissão Examinadora**

---

**Prof. Dr. Richard Thomas Lermen  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

---

**Prof. Esp. Leonardo Teixeira Rodrigues  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

---

**Prof. Eng. Francine Centenaro  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina  
2013**

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais e meu irmão que me apoiam e incentivam a cada dia para que novas portas sejam abertas visando um futuro digno e de sucesso.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos professores que oportunizaram o conhecimento durante todo o curso bem como na orientação deste trabalho.

Agradeço aos colegas que estiveram sempre presentes durante esta jornada de cinco anos de dedicação, em especial aos colegas Mauri Beck, Jorge Passos e Djonathan Güntzel.

“Superação é ter a humildade de aprender com o passado, não se conformar com o presente e desafiar o futuro.”

HUGO BETHLEM

## RESUMO

Devido ao constante crescimento de produção e entrada de novos produtos em uma empresa de grande porte do Rio Grande do Sul, a necessidade de inovação afim de reduzir a área fabril ocupada por dispositivos e ferramentas vem sendo cada vez mais solicitada. No caso da logística interna da empresa, um novo conceito de um dispositivo de movimentação nomeado de *tilt rack* possibilitou ganhos relativos em produtividade e otimização de área mantendo os mesmos padrões de segurança e qualidade, porém após a implementação algumas dúvidas acabaram surgindo quanto as suas formas corretas de utilização, capacidade estrutural e de qual seria o índice de risco ergonômico exposto ao trabalhador. Desta forma o presente trabalho avalia a padronização do processo de utilização do *tilt rack* atualmente utilizado para atividades de movimentação interna no setor de logística, que no qual necessita uma análise operacional, estrutural e ergonômica com o intuito de mensurar os riscos aplicando uma equação que visa a frequência de utilização bem como o peso aplicado na tarefa sem que a integridade física do trabalhador seja afetada. Para o estudo são utilizadas ferramentas de ergonomia que demonstram os resultados dos maiores pesos em que o operador poderá manusear e quais são os procedimentos corretos de utilizar o equipamento visando todos os envolvidos na operação, por fim, foi efetuada uma análise considerando os conceitos das cargas limites para o dispositivo bem como o seu comportamento estrutural contando com o auxílio de *software* de simulação em 3D. Depois de efetuada a análise por elementos finitos é possível visualizar que a estrutura do *tilt rack* está corretamente dimensionada para as cargas atualmente aplicadas, bem como com ajustes nos processos de alguns itens é possível manusear o equipamento sem apresentar riscos ergonômicos de média ou alta gravidade tendo um procedimento de utilização adequado.

**Palavras-chave:** Análise estrutural. Ergonomia. Procedimentos de utilização.

## **ABSTRACT**

Due to the constant production growing and arrival of new products in a large-sized company at Rio Grande do Sul, the need of innovation to reduce the shop floor area used by devices and tools has been even more requested. In the case of internal logistics of this company, a new concept of a device named tilt rack allowed gains on productivity and area optimization keeping the same conditions of safety and quality, however after this implementation some doubts came up related to the correct use of the tilt rack, structural capacity and what would be the ergonomic risk rate exposed to the employee. By this way this paper evaluate the process standardization of using the tilt rack that is currently used for moving at internal logistics department, that needs an analysis on the operation and structure, as well the ergonomics in order to evaluate the risks applying an equation that consider the frequency of utilization and the weight applied during the task with no injuries to the employee. For this study are used ergonomics tools that shows the results of the higher weights that the operator can handle and what are the right procedures of equipment using seeing all involved at the operation, and finally an structural analysis is done considering the concepts of load limit for the device, as well as the structure behavior with the assistance of 3D simulation software. After done the finite element analysis is possible to view that the tilt rack structure is correctly dimensioned for the current loads and with adjustments on the process of some part numbers is possible to use the equipment without medium and high ergonomics risks with a procedure appropriate for use.

**Keywords:** Structural analysis. Ergonomics. Procedure of use.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama Tensão-Deformação.....	19
Figura 2 - Contração e expansão dos corpos .....	21
Figura 3 - <i>Tilt Rack</i> Pequeno .....	24
Figura 4 - <i>Tilt Rack</i> Médio .....	25
Figura 5 - <i>Tilt Rack</i> Grande.....	25
Figura 6 - Abastecimento de container no <i>tilt rack</i> .....	26
Figura 7 - Transporte <i>tilt rack</i> inferior .....	27
Figura 8 - Transporte <i>tilt rack</i> completo.....	27
Figura 9 - Transporte <i>tilt rack</i> superior .....	28
Figura 10 - Manípulo.....	28
Figura 11 - Posicionamento das mãos.....	29
Figura 12 - Plataforma de apoio.....	29
Figura 13 - Acesso a retirada dos itens.....	30
Figura 14 - Pino de engate.....	30
Figura 15 - Parte superior e inferior do <i>tilt rack</i> .....	32
Figura 16 - Análise estrutural do <i>tilt rack</i> .....	33
Figura 17 - Equação de NIOSH <i>tilt rack</i> pequeno .....	35
Figura 18 - Gráfico peso unitário do <i>tilt rack</i> pequeno .....	36
Figura 19 - Equação de NIOSH <i>tilt rack</i> médio e grande.....	37
Figura 20 - Gráfico peso unitário do <i>tilt rack</i> médio e grande .....	38
Figura 21 - Peso total da embalagem .....	39
Figura 22 - Análise de elementos finitos .....	39

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fator frequência de levantamento .....	16
Quadro 2 - Qualidade de pega da carga .....	17
Quadro 3 - Coeficiente de Poisson .....	22
Quadro 4 - Módulo de elasticidade .....	22
Quadro 5 - Peso específico.....	22
Quadro 6 - Tensões .....	23
Quadro 7 - Medidas de utilização do <i>tilt rack</i> .....	31

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
2.1	PROCEDIMENTOS DE ENGENHARIA .....	14
2.2	ERGONOMIA NO TRABALHO .....	15
2.3	RODÍZIOS INDUSTRIAIS .....	17
2.4	ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS.....	18
2.4.1	PROPRIEDADE DOS MATERIAIS.....	20
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>24</b>
3.1	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....	24
3.1.1	PROCEDIMENTO DE UTILIZAÇÃO .....	26
3.1.2	ANÁLISE ERGONÔMICA .....	30
3.1.3	ANÁLISE DE CAPACIDADE.....	32
3.2	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS .....	34
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>35</b>
4.1	ANÁLISE ERGONÔMICA.....	35
4.2	ANÁLISE DE CAPACIDADE ESTRUTURAL .....	38
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>42</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>43</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento de produção e entrada de novos produtos, a demanda por área nas linhas produtivas aumentou consideravelmente. Desta forma, atividades que não agregam valor, ferramentas não utilizadas com frequência e principalmente dispositivos ocupando uma área relativamente grande, foram analisados e retrabalhados a fim de prover um local de trabalho mais apropriado aos operadores, bem como trazer impactos positivos voltados a uma maior produtividade.

De acordo com Peinado e Graeml (2007), a necessidade de expansão de negócio está diretamente ligada a capacidade produtiva da fábrica, desta forma o estudo do arranjo físico do *layout* é necessário para que sejam produzidas mais máquinas ou que novos modelos possam ser inseridos, caso a melhoria física da área produtiva for mal implementada na maioria dos casos os indicadores de produtividade e qualidade são penalizados, sendo assim é de grande importância que melhorias de processos internos contemplem condições no ambiente de trabalho, redução de movimentos que não agregam valor, alterações que visam um longo prazo de permanência tendo um correto e bom uso do espaço contando com a possibilidade de ocupação vertical.

Tendo em vista a questão da grande área de ocupação dos dispositivos de logística inseridos nos *layouts* de produção, surge a necessidade de novos conceitos que venham a possibilitar uma alteração no projeto de carros de movimentação sem que os requisitos de segurança, ergonomia e qualidade sejam impactados negativamente. Segundo Rocha (2011), durante a movimentação de materiais são consideradas as características da movimentação, seus equipamentos bem como o local de armazenagem desta forma o *layout* é influenciado diretamente pela forma do fluxo de materiais, a área disponível e sua análise de processo.

O novo conceito chamado de *tilt rack* é um dispositivo que traz como principal benefício a redução de área interna ocupada nos *layouts* de produção apresentando particularidades em seu funcionamento perante os meios de transporte e armazenagem convencionais. Atualmente este conceito está sendo aplicado em uma empresa de grande porte no estado do Rio Grande do Sul, os dispositivos que

encontram-se em circulação atualmente já vem apresentando muitos resultados positivos nos processos internos, em contrapartida é levantada a necessidade de entendimento de quais seriam os limites de capacidade de carga que o *tilt rack* pode suportar, as restrições ergonômicas em sua utilização e também o detalhamento de como o equipamento pode ser manuseado pelos operadores envolvidos no processo.

O presente trabalho demonstra três temas como os principais objetivos, sendo eles a definição das formas corretas de manuseio do *tilt rack* destacando seu funcionamento e padrão de utilização, elaborar uma análise ergonômica utilizando conceitos de ferramentas por meio de equações que estabelecem as formas mais apropriadas de trabalho visando manter a integridade do funcionário com a entrada do novo conceito e também efetuar uma análise estrutural do ponto mais crítico do conjunto determinando a capacidade máxima de carga estática tendo o auxílio de ferramentas de análise por elementos finitos.

#### Objetivos Específicos:

- Efetuar uma pesquisa com base na literatura voltada à ergonomia, sistemas de gestão da qualidade para processos padronizados, estrutura dos materiais, mecânica dos sólidos e análise por elementos finitos;
- Verificar a capacidade de carga atualmente aplicada no ponto mais crítico do dispositivo e verificar se a estrutura está dimensionada de forma adequada;
- Desenvolver um procedimento padrão de utilização do equipamento, visando proporcionar um melhor entendimento aos operadores;
- Determinar o peso limite de manuseio de itens dispostos nos *tilt racks* com base na aplicação de ferramentas de ergonomia com o auxílio do cálculo de NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) tendo como objetivo estudar as questões de segurança e ergonomia do trabalhador.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 PROCEDIMENTOS DE ENGENHARIA

Durante o período da crise do petróleo em 1973, seguida de uma grande recessão que afetou várias entidades políticas, empresariais e sociedades de todo o mundo, no ano seguinte a economia japonesa também sofreu uma grande queda apresentado crescimento zero em suas principais empresas, porém a *Toyota Motor Company* mesmo tendo os seus lucros diminuídos conseguiu manter os ganhos chamando a atenção de empresas locais e até de outros continentes (OHNO, 1997). Esta tendência de crescimento foi basicamente uma nova forma de se pensar e realizar processos fabris Ohno (1997) descreve em seu livro as primeiras atitudes inovadoras no sistema Toyota, que contemplavam a análise dos cinco porquês, eliminação dos desperdícios e a folha de trabalho padrão que por sua vez aplica em seu conceito a descrição detalhada da sequência de trabalho.

Para Falconi (1992), a padronização é de grande importância, o autor destaca o padrão técnico do processo com procedimentos de utilização, execução de atividades e aplicação das tarefas, pois os objetivos destes materiais devem ser a simplificação e clareza das operações sendo uma forma ilustrativa para quem irá utilizar a ferramenta ou equipamento. De acordo com a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) a NBR ISO 9001:2000 que contempla os sistemas de gestão da qualidade, estabelece em seus requisitos gerais para que o processo esteja em conformidade as informações devem estar documentadas e implementadas sendo mantidas em constante melhoria, desta forma a organização deve basicamente atender os tópicos listados abaixo:

- Identificar e aplicar em toda a organização os processos gerenciais da qualidade;
- Determinar a sequência e interação destes processos;
- Elaborar critérios e métodos que sejam eficazes para o controle destes processos;
- Disponibilizar recursos e informações para efetuar o monitoramento dos processos;
- Efetuar monitoramento, medição e análise dos processos;

- Implementar planos de ação necessários para atingir metas bem como o plano de melhoria contínua.

Assim é possível compreender a importância de procedimentos e manuais internos para a execução de processos e utilização de equipamentos e dispositivos de manufatura. Para Masiero (1996) a qualidade dos produtos depende muito do envolvimento de todos os funcionários principalmente dos operários ligados diretamente a execução final de confecção dos produtos, desta forma as informações devem estar descritas com clareza evidenciando a importância do conhecimento de como manusear equipamentos e efetuar as tarefas do dia-a-dia.

## 2.2 ERGONOMIA NO TRABALHO

Em seus conceitos iniciais, o projeto e desenvolvimento de um produto não apresentava uma preocupação e controle voltados especificamente para a ergonomia, porém nas últimas décadas este cenário veio mudando para que questões que interferem nos fatores homem-máquina-ambiente também sejam considerados no lançamento de novos produtos (IIDA, 2005). Para Barbosa (2009), a ergonomia está inserida no estudo de todos os objetos e aparatos que o ser humano tenha envolvimento durante as suas mais variadas tarefas do dia-a-dia, para o projeto de um novo produto são consideradas as todas as características incluindo as suas dimensões biomecânicas, fisiológicas e psicológicas.

Segundo a norma NR17, voltada a questões de ergonomia, que visa proporcionar ao trabalhador condições de trabalho com o máximo de conforto, segurança e eficiência em seu desempenho, o empregador deve realizar a análise ergonômica dos locais de trabalho devendo abordar as condições trabalhistas estabelecidas na norma regulamentadora conforme as descritas abaixo.

NR17.2.2. Não deverá ser exigido nem admitido o transporte manual de cargas, por um trabalhador cujo peso seja suscetível de comprometer sua saúde e segurança; NR17.2.3. Todo trabalhador designado para o transporte manual regular de cargas, que não as leves, deve receber treinamento ou instruções satisfatórias quanto aos métodos que deverá utilizar, com vistas a salvaguardar sua saúde e prevenir acidentes (BRASIL NR17, 1990).

Uma ferramenta utilizada para o entendimento dos impactos ergonômicos em um projeto ou processo é a equação de NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health - EUA*), conceito este desenvolvido para calcular a faixa de peso

limite para a execução de tarefas, preferencialmente em atividades repetitivas (WALTERS, 2005).

lida (2005) descreve em seu livro o funcionamento da equação de NIOSH, considerando que a fórmula consiste em um peso padrão de 23 kg multiplicado por mais 6 variáveis, onde as mesmas se referem a uma tarefa de manusear um material qualquer deslocando até outro local, na maioria dos casos em um nível de altura diferente com apenas o auxílio das mãos.

Para facilitar o entendimento de qual é a carga de movimentação mais apropriada, pode ser utilizada Equação 1 a qual leva em consideração vários fatores que interferem diretamente na atividade física do trabalhador (TOP ERGONOMIA, 2008).

$$LPR = 23x \left( \frac{25}{FDH} \right) x \left( 1 - \frac{0,003}{[FAV - 75]} \right) x \left( 0,82 + \frac{4,5}{FDVP} \right) x (1 - 0,0032x FRLT) x FFL x FQPC \quad (1)$$

LPR = peso padrão de 23 kg

FDH = posição horizontal entre as mãos e a linha média do tornozelo, em cm

FAV = posição vertical das mão em relação ao solo, em cm

FDVP = distância vertical percorrida, em cm

FRLT = ângulo de rotação lateral do tronco, em graus

FFL = fator de frequência de levantamento (Quadro 1)

FQPC = fator de qualidade de pega da carga (Quadro 2)

Quadro 1 – Fator frequência de levantamento

Frequência Carga/min (F)	DURAÇÃO DO TRABALHO					
	<= 1 Hora		> 1 e <= 2 h		> 2 e <= 8 h	
	V < 75	V >= 75	V < 75	V >= 75	V < 75	V >= 75
<= 0,2	1,00	1,00	0,95	0,95	0,85	0,85
0,5	0,97	0,97	0,92	0,92	0,81	0,81
1	0,94	0,94	0,88	0,88	0,75	0,75
2	0,91	0,91	0,84	0,84	0,65	0,65
3	0,88	0,88	0,79	0,79	0,55	0,55
4	0,84	0,84	0,72	0,72	0,45	0,45
5	0,80	0,80	0,60	0,60	0,35	0,35
6	0,75	0,75	0,50	0,50	0,27	0,27
7	0,70	0,70	0,42	0,42	0,22	0,22
8	0,60	0,60	0,35	0,35	0,18	0,18
9	0,52	0,52	0,30	0,30	0,00	0,15
10	0,45	0,45	0,26	0,26	0,00	0,13
11	0,41	0,41	0,00	0,23	0,00	0,00
12	0,37	0,37	0,00	0,21	0,00	0,00
13	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
>15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Quadro 2 - Qualidade de pega da carga

<b>Fator Qualidade da Pega da Carga - FQPC</b>		
<b>Pega</b>	<b><math>V_c &lt; 75</math> (cm)</b>	<b><math>V_c &gt; 75</math> (cm)</b>
<b>Boa</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
<b>Razoável</b>	<b>0,95</b>	<b>1,00</b>
<b>Pobre</b>	<b>0,90</b>	<b>0,90</b>

**Fonte:** Top Ergonomia, 2008.

Após a apresentação dos resultados da equação, deve ser analisado se o peso que está sendo levantado oferece ou não algum risco durante a atividade, se o valor for menor que 1,0 a condição é segura apresentando uma chance mínima de lesão, resultado entre 1,0 e 2,0 a condição é insegura possibilitando um médio risco de lesão e por fim se o valor for maior que 2,0 a condição é insegura com alto risco de lesão (TOP ERGONOMIA, 2008).

### 2.3 RODÍZIOS INDUSTRIAIS

Para a escolha de um rodízio adequado existem fatores ligados diretamente as características dos componentes do rodízio e também fatores externos que variam de acordo com as condições que ele será exposto, para as questões ligadas diretamente ao rodízio deve ser considerado o diâmetro da roda que quanto maior, menor será o esforço para movimentar. Outro fator seria a banda de rodagem, onde é observada a dureza que quanto mais rígida, maior é a facilidade na movimentação e um terceiro fator de grande importância é o mancal de rolamento que suas características variam de acordo com a carga aplicada (NOVEX, 2013).

Considerando os fatores externos, são avaliadas as condições de peso que serão aplicadas na estrutura do rodízio, sendo considerada a carga de material, bem como o peso do dispositivo ou carro de movimentação questões voltadas ao ambiente e qualidade do piso também são relevantes. A Equação 2 auxilia no cálculo que informa qual é a carga aplicada sobre cada rodízio, permitindo assim com o auxílio de catálogos a escolha do rodízio ideal (SCHIOPPA, 2013).

$$C = \frac{(Pe + Pmc) \times S}{N} \quad (2)$$

C = carga por roda ou rodízio (kg)

Pe = peso do equipamento (kg)

Pmc = peso máximo da carga a ser transportada (kg)

N = número de rodas ou rodízios

S = coeficiente de segurança (Tabela 1)

Tabela 1 - Coeficiente de segurança para rodízios

Coeficiente de Segurança S	Condição de Uso
1	Carga praticamente estática
1,33	Uso frequente, movimentações em pisos lisos
1,5	Uso frequente, movimentações em pisos irregulares
2	Uso severo, em velocidades acima de 10Km/h com cargas sólidas ou líquidas, ou necessidade de transpor obstáculos

Fonte: Adaptado de Schioppa, 2013.

## 2.4 ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS

Atualmente para o desenvolvimento de novos produtos e a necessidade de atender os resultados em prazos menores oferecendo uma maior confiabilidade nas análises que venham de encontro à redução de custo de projetos, está sendo cada vez mais exigida no mercado (ALVES, 2012). Desta forma o método de elementos finitos permite o engenheiro calcular, simular e efetuar suas análises antes mesmo da confecção física do produto, permitindo que a empresa trabalhe com proatividade atuando diretamente na detecção das falhas bem como a solução dos defeitos (ALVES, 2012).

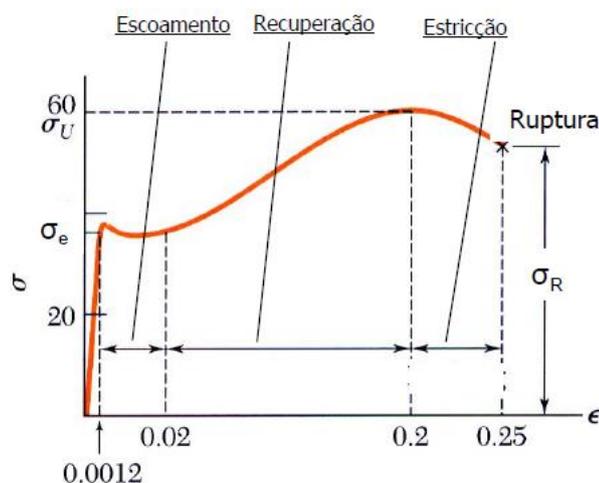
Para o estudo dos fenômenos em análise estrutural utilizando o método de elementos finitos entende-se que é necessário o conhecimento de duas formas de análise para cálculos do comportamento de uma estrutura, sendo as formas linear e não linear. A linear é uma forma mais simples utilizada para soluções diretas sem a necessidade de desenvolvimento de equações trabalhosas tendo respostas mais breves necessitando de um número de constante relativamente pequeno, por outro lado a análise não linear é fundamental quando se requer um estudo de alta performance de uma estrutura onde é necessário saber com precisão o estado limite

de resistência até o colapso, esta forma de estudo geralmente é feita por meio de *softwares* mais sofisticados para que se tenha uma confiabilidade maior nos cálculos (ALVES, 2012).

Considerando estas variáveis de análise, Alves (2012) também destaca quais seriam os fatores de grande importância para a definição dos elementos finitos que são considerados no modelo em estudo, onde primeiramente deve ser definida a característica do material, as suas propriedades físicas e geométricas, para que assim seja permitido o entendimento da rigidez dos elementos que compõe uma estrutura ou conjunto.

Para uma melhor visualização do comportamento do material quando submetido a determinados carregamentos o diagrama tensão-deformação pode apresentar de uma forma gráfica os valores de carga que podem ser aplicados até o momento da ruptura que pode sofrer variações podendo ser ocasionadas devido a diferentes tipos de material, mudança de temperatura do corpo de prova no momento do ensaio ou da velocidade de crescimento durante a carga. Considerando a categoria dos materiais dúcteis como o aço estrutural e outros metais, que compreendem materiais que apresentam escoamento em temperatura ambiente são representados na Figura 1 os principais pontos de mudança de comportamento do material (BEER; JOHNSTON, 1996).

Figura 1 - Diagrama Tensão-Deformação



Fonte: Beer e Johnston, 2013.

Na representação do diagrama pode ser visualizado o limite de tensão elástica do material, que segundo Beer e Johnston (1996) quando um material sofre deformação ocasionada por determinado carregamento em sua estrutura e após esta carga ser retirada o material volta ao formato original, pode-se dizer que a tensão submetida está dentro da zona elástica do material, sendo assim no ponto sigma e ( $\sigma_e$ ) da Figura 1, é apresentada a tensão limite de escoamento do item em análise, sendo que valores acima desta tensão o material estará na zona plástica sofrendo uma deformação que o material não retorna ao formato de origem e posteriormente com uma carga maior o mesmo estará sujeito à ruptura.

Para a definição das pequenas deformações de um material é utilizada a Lei de Hook, sendo que esta alteração na microestrutura não ultrapassa a zona elástica do diagrama tensão-deformação e nesta região do diagrama a tensão  $\sigma$  é diretamente proporcional a deformação  $\varepsilon$  (BEER; JOHNSTON, 1996).

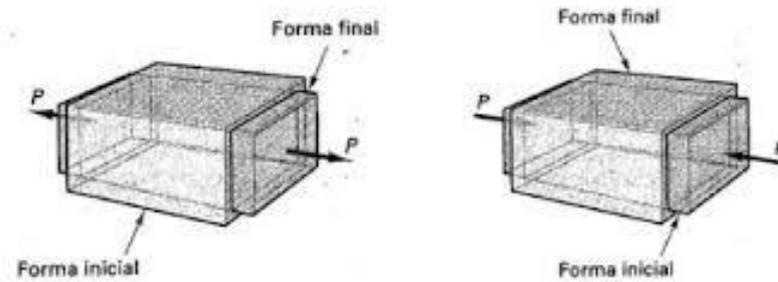
$$\sigma = E\varepsilon \quad (3)$$

Na Equação 3 é inserida a constante E que por sua vez representa o módulo de elasticidade do material também conhecido por módulo de Young, que tem a função de ser uma constante de proporcionalidade que relaciona a tensão normal à sua deformação linear que normalmente entre os aços varia entre 20.000 e 21.000 kgf/mm<sup>2</sup> (POPOV, 1978).

#### **2.4.1 Propriedade dos Materiais**

O material tendo como exemplo o aço pode sofrer diferentes tipos de deformação não sendo somente no sentido da tensão normal aplicada, mas também em sua seção transversal expandindo ou contraindo lateralmente ocorrendo de forma perpendicular a tensão exercida sobre o material. Conforme a Figura 2 pode ser visualizado de uma forma exagerada a tensão axial bem como o material sendo comprimido (POPOV, 1978).

Figura 2 - Contração e expansão dos corpos



Fonte: Popov, 1978.

A finalidade de entender estes dois tipos de deformação no material é para a determinação do coeficiente de Poisson representado por  $\nu$ , que é a relação entre o valor de deformação lateral obtido dividido pela deformação na direção axial conforme apresentado na Equação 4 (POPOV, 1978).

$$\nu = \frac{\text{deformação lateral}}{\text{deformação axial}} \quad (4)$$

Várias propriedades dos materiais são consideradas para o entendimento de qual capacidade de carga podem ser aplicadas diante das mais variadas condições, mais uma condição que aprimora este entendimento é o cálculo de tensão admissível do material que varia diretamente na razão de escoamento  $\sigma_e$  e o coeficiente de segurança  $k$ , considerando a Equação 5 somente para materiais dúcteis (MELCONIAN, 1999).

$$\sigma = \frac{\sigma_e}{k} \quad (5)$$

Melconian (1999), também apresenta em seu livro várias classificações dos materiais de acordo com as suas características de construção que incluem coeficiente de Poisson, módulo de elasticidade, peso específico, coeficiente de dilatação e tensão de escoamento. Todas estas informações são mais facilmente representadas de forma resumida, conforme pode ser visualizado nos Quadros 3, 4, 5 e 6.

Quadro 3 - Coeficiente de Poisson

<b>Material</b>	<b>v</b>	<b>Material</b>	<b>v</b>
aço	0,25 - 0,33	latão	0,32 - 0,42
alumínio	0,32 - 0,36	madeira compensada	0,07
bronze	0,32 - 0,35	pedra	0,16 - 0,34
cobre	0,31 - 0,34	vidro	0,25
fofo	-0,23 - 0,27	zinco	0,21

Fonte: Adaptado de Melconian, 1999, p. 69.

Quadro 4 - Módulo de elasticidade

<b>Material</b>	<b>Módulo de elasticidade em Gpa</b>	<b>Material</b>	<b>Módulo de elasticidade em Gpa</b>
Aço	210	Latão	117
Alumínio	70	Ligas de Al	73
Bronze	112	Ligas de chumbo	17
Cobre	112	Ligas de estanho	41
Chumbo	17	Ligas de magnésio	45
Estanho	40	Ligas de titânico	114
Fofo	100	Magnésio	43
fofo Modul	137	Monel (liga níquel)	179
Ferro	200	Zinco	96

Fonte: Adaptado de Melconian, 1999, p. 69.

Quadro 5 - Peso específico

<b>Material</b>	<b>Peso Específico <math>\gamma</math>[N/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Material</b>	<b>Peso Específico <math>\gamma</math>[N/m<sup>3</sup>]</b>
Aço	7,70 x 10e4	Gelo	0,88 x 10e4
Alumínio	2,55 x 10e4	Papel	0,98 x 10e4
Bronze	8,63 x 10e4	Ouro	18,95 x 10e4
Borracha	0,93 x 10e4	Prata	9,80 x 10e4
Cobre	8,63 x 10e4	Zinco	6,90 x 10e4

Fonte: Adaptado de Melconian, 1999, p. 70.

Quadro 6 - Tensões

<b>Materiais</b>	<b>Tensão de escoamento de [Mpa]</b>	<b>Tensão de ruptura [Mpa]</b>
Aço Carbono		
ABNT 1010 - L	220	320
- T	380	420
ABNT 1010 - L	280	360
- T	480	500
ABNT 1010 - L	300	480
- T	500	550
ABNT 1010 - L	360	600
- T	600	700
ABNT 1010 - L	400	650

Fonte: Adaptado de Melconian, 1999, p. 71.

O conhecimento da origem dos cálculos e das especificações necessárias para que sejam determinados uma série de fatores em diversas aplicações práticas do dia-a-dia de um engenheiro é sempre de grande importância, com a evolução de ferramentas de simulação virtual estes fatores estão inseridos dentro de programas computacionais onde permitem uma maior confiabilidade nos cálculos, bem como um considerável ganho em tempo para a obtenção de respostas para dimensionamento de equipamentos das mais variadas formas e aplicações tornando-se uma ferramenta necessária o trabalho nas indústrias (RENDER, 2013).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Partiu-se do princípio que o *tilt rack* fisicamente já está em vigor no processo logístico da empresa em estudo, onde o mesmo é considerado como um item que substitui o carro base trazendo um novo conceito no processo de suprimento e movimentação. Desta forma se faz necessário um procedimento de utilização que possibilita o manuseio de uma maneira adequada, não oferecendo riscos ergonômicos e de segurança aos colaboradores.

O princípio do processo de utilização do *tilt rack* é iniciado no momento em que o analista de logística identifica itens característicos para este processo, observando a demanda do item que preferencialmente deve ser de consumo diário e também verificando o peso unitário da peça e total do container, sendo que os limites de peso serão apresentados nos parágrafos a seguir com base nas análises estruturais e de ergonomia. Ainda no processo analítico deste conceito, deve ser considerado que existem três tamanhos de *tilt rack* cada um aplicado a dimensões de embalagem diferentes.

A Figura 3 apresenta o *tilt rack* pequeno o qual é utilizado somente para container pequeno com dimensões externas de 1350 x 880 x 1400 milímetros (comprimento, largura e altura respectivamente).

Figura 3 - *Tilt Rack* Pequeno



A Figura 4 mostra o desenho de um *tilt rack* médio sendo utilizado para container médio, aramado pequeno, *pallet* de KLT e colapsável pequeno tampa baixa com dimensões externas de 1350 x 1050 x 1400 milímetros (Comprimento, largura e altura respectivamente).

Figura 4 - *Tilt Rack* Médio



Na Figura 5 pode ser visualizada a ilustração do *tilt rack* grande o qual é utilizado para itens armazenados em container grande e aramado grande com dimensões externas de 1750 x 1120 x 1400 milímetros (comprimento, largura e altura).

Figura 5 - *Tilt Rack* Grande



### 3.1.1 Procedimento de Utilização

No momento em que um item é inserido no conceito de *tilt rack* são contemplados basicamente dois processos fabris, que seria o logístico (fornecedor) e o de manufatura (cliente). Para a capacitação dos profissionais os mesmos devem ter conhecimento de como efetuar o abastecimento, movimentação, inclinação e retirada das peças. Na sequência segue o procedimento de trabalho elaborado com o intuito de instruir o operador ao correto uso do equipamento, utilizando meios ilustrativos afim de facilitar a compreensão.

Abastecimento: no momento em que o operador for colocar a embalagem dentro do *tilt rack* deverá ser observado para que a mesma fique o mais próximo possível do lado oposto de abastecimento, ou seja, do lado em que a pessoa que irá utilizar as peças tenha acesso. Este procedimento tem o intuito de facilitar a inclinação reduzindo o esforço físico do trabalhador conforme representado na Figura 6.

Figura 6 - Abastecimento de container no *tilt rack*



Movimentação: o dispositivo foi desenvolvido de forma que permite o transporte de três formas diferentes, onde pode ser com a parte superior e inferior acopladas, somente a parte superior e por fim somente a parte inferior. Mais detalhes podem ser observados nas Figuras 7 e 8.

Sempre que for necessário efetuar uma movimentação com a parte inferior do *tilt rack* deve-se observar o sentido dos rodízios, os mesmos possuem bloqueio de

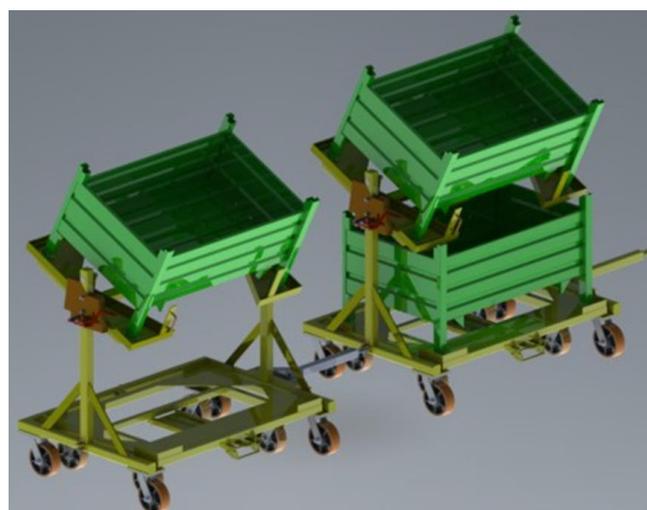
giro no caso da Figura 7 deve-se manter os rodízios traseiros fixos para o sentido da movimentação e os frontais devem estar com giro livre.

Figura 7 - Transporte *tilt rack* inferior



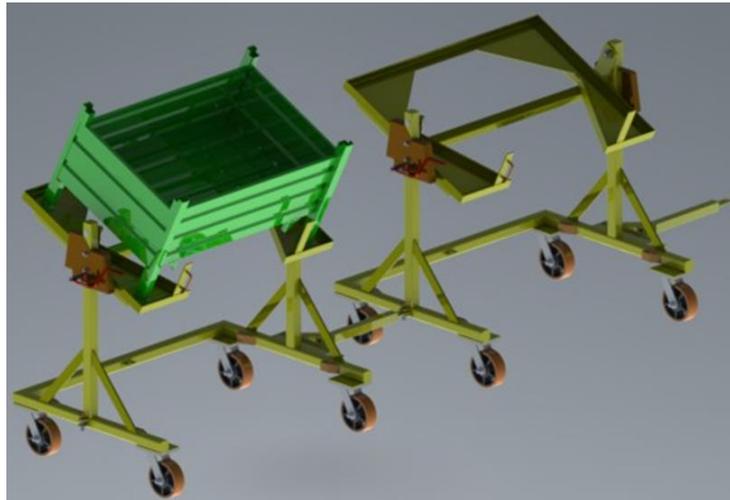
Na Figura 8 pode ser visualizada a forma de transporte com o *tilt rack* superior e inferior acoplados sendo que para a parte inferior os dois rodízios devem estar desbloqueados com o intuito de não interferir no transporte, pois os rodízios guia para a movimentação são do *tilt rack* superior. Outro fator que deve ser observado, é que em qualquer tipo de movimentação, o carro inferior deverá estar acoplado com o pino de segurança fixo no carro superior.

Figura 8 - Transporte *tilt rack* completo



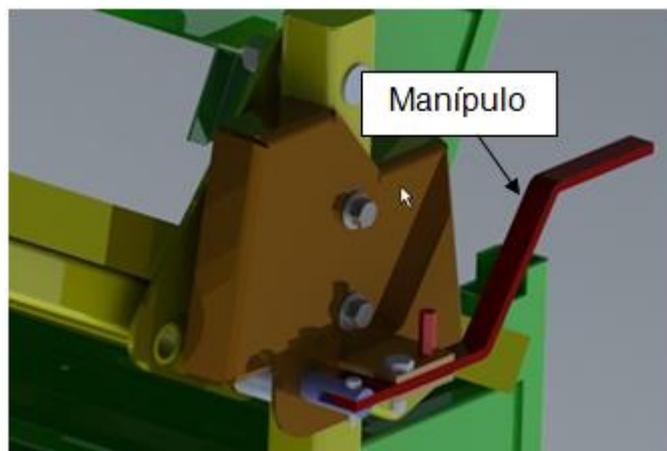
Para movimentação do *tilt rack* superior a única restrição é para o bloqueio de giro dos dois rodízios traseiros, mas no restante do processo de deslocamento seria uma forma de transporte similar aos carros atualmente utilizados na fábrica. Conforme a ilustração na Figura 9.

Figura 9 - Transporte *tilt rack* superior



Inclinação: para efetuar a atividade de inclinar a embalagem deve-se principalmente observar o posicionamento das duas mãos. A Figura 10 mostra o sistema de giro da base superior com o auxílio de um manípulo afim de permitir ou bloquear a inclinação da estrutura.

Figura 10 - Manípulo



De acordo com a Figura 11, o movimento de inclinação da base superior pode ser efetuado somente após o operador ter as duas mãos corretamente posicionadas, sendo a mão esquerda no manípulo e a mão direita no pega-mão.

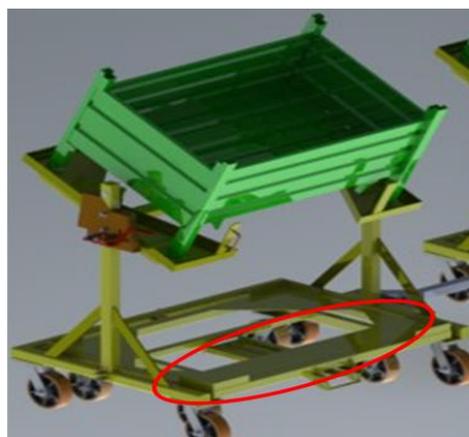
Figura 11 - Posicionamento das mãos



Somente após o operador ter as duas mãos posicionadas, ele poderá efetuar a inclinação da embalagem. Para o usuário do *tilt rack* saber momento certo de fazer a inclinação, ele deverá observar a capacidade da embalagem, quando o operador não tiver mais acesso às peças na posição horizontal, ele deverá fazer a inclinação, sendo assim a embalagem estará mais leve evitando esforço físico desnecessário.

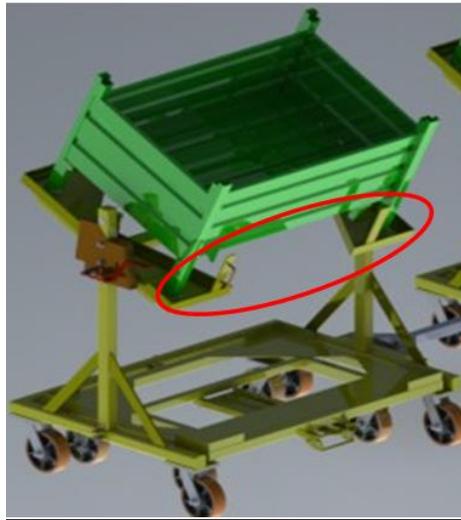
Para a retirada de itens da parte superior o dispositivo possui um local apropriado com a funcionalidade de base para o funcionário subir no *tilt rack* e ter acesso as peças quando necessário, este local é basicamente uma chapa com ranhuras que evitam com que a pessoa deslize da plataforma, conforme destacado em vermelho na Figura 12.

Figura 12 - Plataforma de apoio



Retirada de itens da parte inferior: o *tilt rack* inferior quando acoplado na parte superior foi projetado da forma com que a base superior possui uma abertura frontal para facilitar a retirada das peças, sendo ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - Acesso a retirada dos itens



No caso de itens maiores disponíveis na parte inferior, o usuário do *tilt rack* poderá soltar o pino de acoplamento, e deslocar a base inferior mais a frente tendo assim uma melhoria no acesso dos itens, conforme a Figura 14.

Figura 14 - Pino de engate



### 3.1.2 Análise Ergonômica

Para o equipamento estar adequadamente dentro dos padrões de ergonomia, primeiramente foi feita uma pesquisa sobre a ferramenta de trabalho da NIOSH, desta forma se fez necessário efetuar medições para obter os dados necessários

para o preenchimento da planilha. Conforme mencionado anteriormente existem 3 tamanhos de *tilt rack*, porém quando são efetuadas as análises ergonômicas podem ser unificados os grupos dos *tilt racks* médios e grandes, pois a única diferença seria na largura do dispositivo não afetando as medições solicitadas na ferramenta NIOSH.

Como início do processo de levantamento de dados, medições das condições de trabalho com o *tilt rack* foram feitas e sequencialmente anotadas em uma planilha. No Quadro 7 seguem as medições para ambos os tamanhos.

Quadro 7 - Medidas de utilização do *tilt rack*

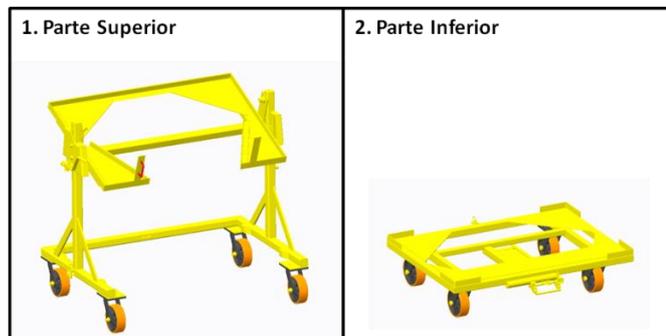
	Tilt Rack Pequeno	Tilt Rack Médio e Grande
Carga Constante (Kg)	23	23
FDH: posição horizontal entre a posição das mão e a linha média do tornozelo (cm)	30	30
FAV: posição vertical das mão com relação ao solo (cm)	135	140
FDVP: distância vertical percorrida (cm)	10	50
FFL: fator frequência de levantamento (Tabela)	0,5	0,5
FQPC: fator qualidade de pega da carga (Tabela)	Boa	Boa
FRLT: rotação lateral do tronco (graus)	35	35

Após efetuadas as medições o próximo passo foi aplicar os valores na planilha NIOSH, desta forma foi possível entender quais são os riscos que o *tilt rack* poderia apresentar observando os limites de esforço que o colaborador necessita para as suas atividades.

### 3.1.3 Análise de Capacidade

Para o entendimento de quanto seria o maior peso de embalagem que poderia ser aplicado no *tilt rack*, foi primeiramente entendido quais seriam os pontos críticos quando a carga fosse submetida. Desta forma, observando o equipamento como um todo esta análise pode ser dividida em duas situações, sendo a estrutura inferior e a superior conforme ilustradas na Figura 15.

Figura 15 - Parte superior e inferior do *tilt rack*



Para a estrutura inferior é considerada a condição de peso aplicada sobre os rodízios, uma vez que possuem a função de não somente movimentar o equipamento, mas também para a estruturação do carro. Para que seja determinada a capacidade máxima de carga foram levantadas as informações de peso do carro vazio, peso máximo de carga aplicada, número de rodízios para sustentação e mais o coeficiente de segurança que varia de acordo com a condição de uso conforme os valores descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Características estruturais

Coeficiente	Descrição	Valor Aplicado
Pe	Peso do carro	300 kg
Pmc	Peso máximo da carga (Kg)	1000 kg
N	Número de rodízios	4
S	Coeficiente de segurança	1,33

Para a estrutura superior, foi optado por considerar a análise de somente a parte estrutural de tubos que suporta todo o peso da embalagem, desta forma foi desconsiderado o conjunto de materiais que não sofre diretamente tensão para sustentação da carga. Na Figura 16 pode ser visualizado na cor azul o conjunto de cinco tubos soldados entre si que foram submetidos a análise por elementos finitos com o auxílio de um *software* de simulação em 3D.

Figura 16 - Análise estrutural do *tilt rack*



Para chegar ao entendimento de como a estrutura estaria dimensionada para a sua atual aplicação, o *software* considera alguns fatores principais que caracterizam o material afim de trazer o mais próximo da realidade esta análise virtual sendo destacados o tipo de material, limite de escoamento, resistência a tração, módulo elástico, coeficiente de Poisson, massa específica e módulo de cisalhamento. Valores e características estão listados na Tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades do material

Propriedades	Características/Valor
Tipo de material	AISI 1020
Limite de escoamento	350 MPa
Resistência a tração	420 MPa
Módulo elástico	200 MPa
Coeficiente de Poisson	0,29
Massa específica	7900 Kg/m <sup>3</sup>
Módulo de cisalhamento	770 MPa

## 3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Durante a execução das atividades alguns materiais foram utilizados a fim de obter maior praticidade no desenvolvimento das tarefas, para a atividade inicial que foi a de montar os procedimentos de trabalho foram somente necessários recursos virtuais que incluem *Pro-Engineer* utilizado na geração das imagens do dispositivo e o Word para a construção e divulgação do procedimento criado.

Para a análise ergonômica foi necessário ir a campo para coleta das medidas operacionais do *tilt rack*, onde o principal instrumento foi uma trena para as medições e com a ajuda de um computador foi efetuada a coleta de dados, posteriormente os cálculos também foram efetuados virtualmente sendo inseridos no cálculo da ferramenta NIOSH.

Na análise de capacidade, a parte estrutural desenhada em 3D foi virtualmente submetida a uma carga total de 1000 kg com o auxílio do *software* de simulação *Solid Works*, possibilitando a visualização dos possíveis pontos de deformação quando a carga for submetida.

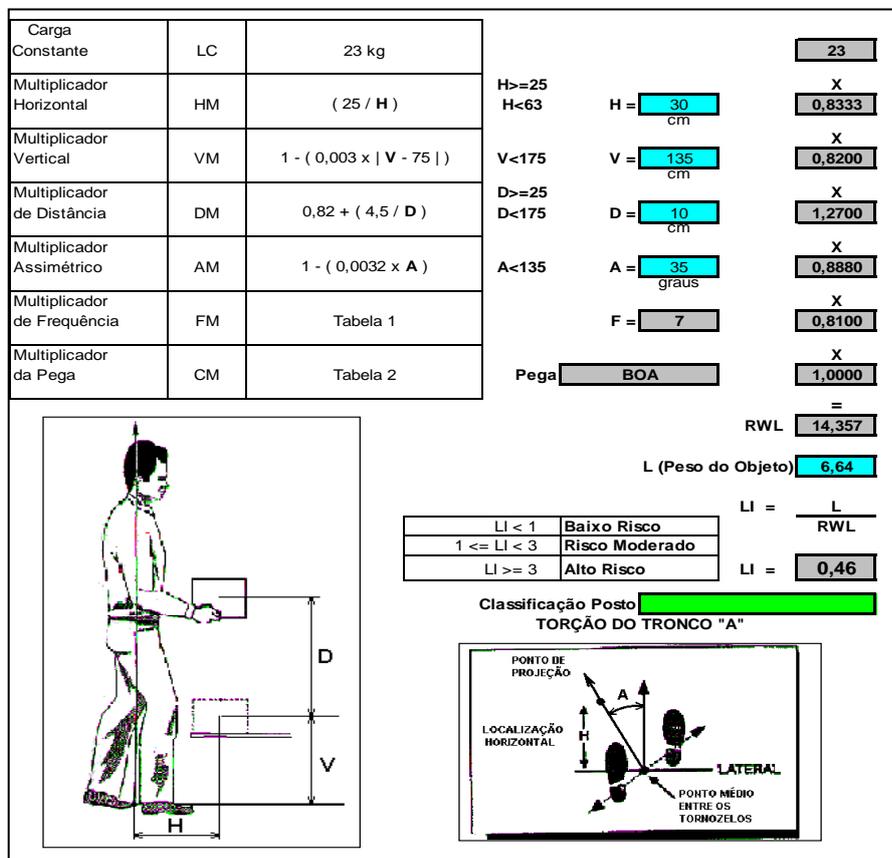
## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISE ERGONÔMICA

Após o levantamento de dados efetuado, as informações sobre as condições de altura, distância, frequência e qualidade do trabalho são simuladas na equação de NIOSH, desta forma as medições foram feitas em diferentes momentos sendo primeiramente para o *tilt rack* pequeno e posteriormente para o médio e grande.

Afim de determinar quais seriam os valores admissíveis de peso dos itens a utilização da equação de NIOSH permite este entendimento, considerando todos os pontos de análise de altura de pega, deslocamento vertical e horizontal, peso do item, qualidade do dispositivo e frequência de utilização chega-se ao valor do peso máximo dos itens que podem ser designados ao *tilt rack*. Na Figura 17 é apresentada de uma forma ilustrativa a aplicação da ferramenta.

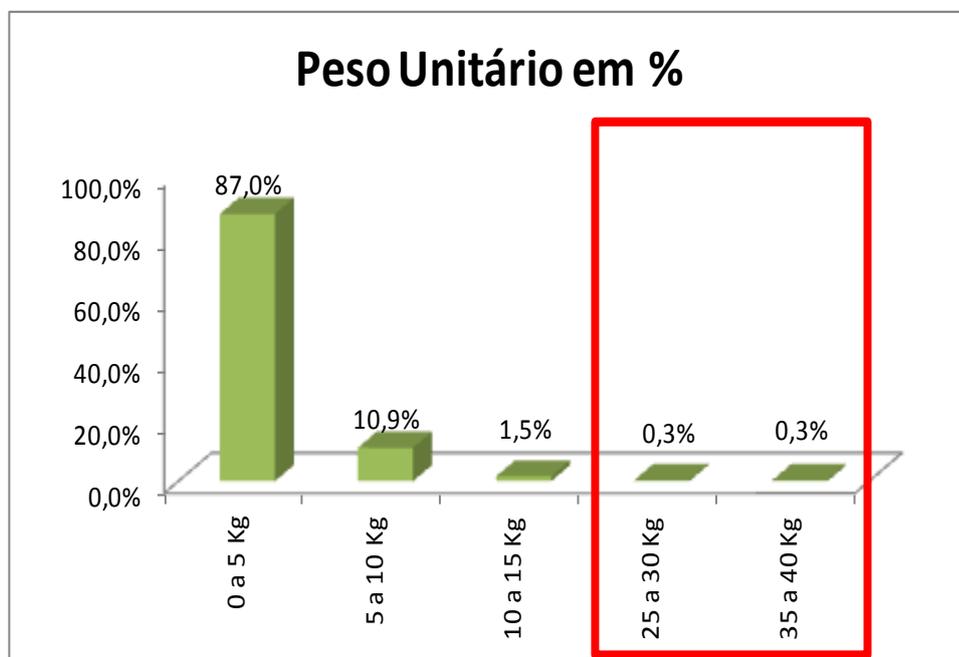
Figura 17 - Equação de NIOSH *tilt rack* pequeno



Fonte: Adaptado de ProDERGO, 2013.

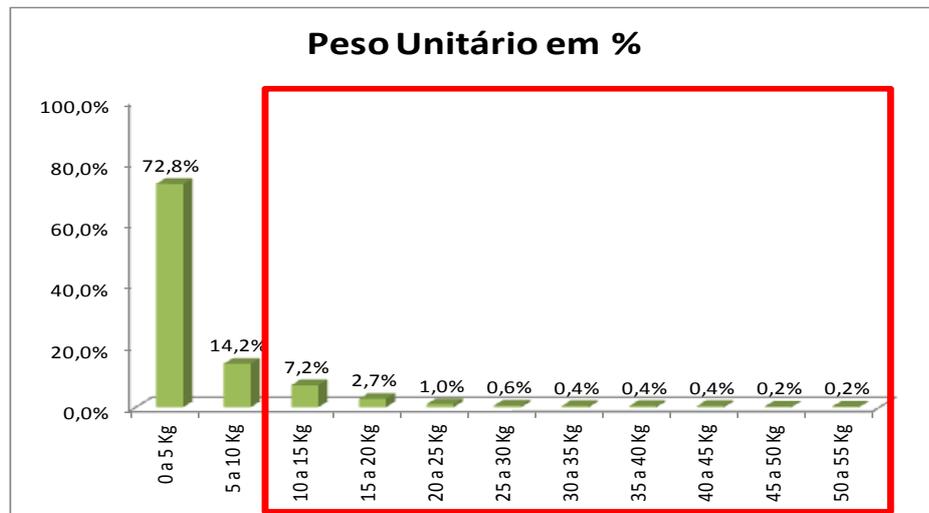
Como resultado da equação o maior peso admissível para uma condição de trabalho de baixo risco de lesão seria de 14,357 kg. Com base em dados da situação atual da empresa, os itens endereçados para *tilt rack* pequeno formam um universo de 331 unidades onde somente 2 códigos que representam 0,6% do total estão acima do peso limite permitido, este pequeno percentual demarcado em vermelho conforme a Figura 18 foi trabalhado para que os itens não sejam mais manuseados pela força braçal do funcionário e sim com o auxílio de uma talha permitindo o içamento de cargas acima do peso estabelecido.

Figura 18 - Gráfico peso unitário do *tilt rack* pequeno



Quanto à análise dos *tilt racks* médio e grande, foi efetuada uma nova medição devido ao fato de estes dois tamanhos possuírem uma altura maior que a do *tilt rack* pequeno, desta forma os tamanhos médio e grande representam uma quantidade maior dentro da logística da empresa em estudo. Na Figura 19 é novamente aplicada a equação da NIOSH considerando todos os fatores detalhados na análise anterior.



Figura 20 - Gráfico peso unitário do *tilt rack* médio e grande

#### 4.2 ANÁLISE DE CAPACIDADE ESTRUTURAL

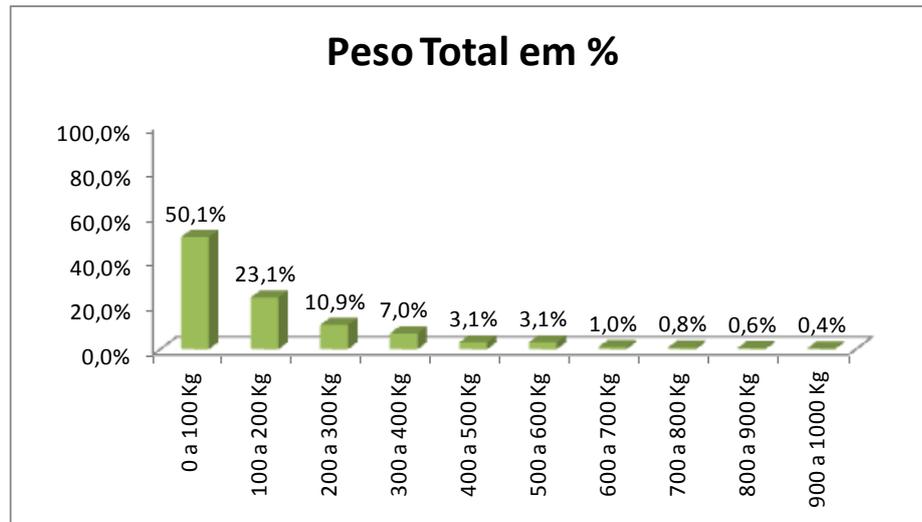
Com o intuito de determinar o modelo de rodízio mais adequado para que a estrutura da base inferior esteja dentro dos limites de carga aplicados, foram calculados os valores relacionados na Tabela 2 apresentada na metodologia deste trabalho.

$$C = \frac{(300 + 1000)}{4} \times 1,33$$

Sendo que C seria a carga que cada rodízio do *tilt rack* inferior deve suportar apresentado o resultado de 432,25 kg, que por verificação em catálogos de fornecedor é recomendado o rodízio com revestimento de poliuretano nas dimensões 8x2 polegadas. Verificou-se que o rodízio atualmente utilizado nos *tilt racks* já está de acordo com a especificação, não sendo necessário efetuar a troca do mesmo.

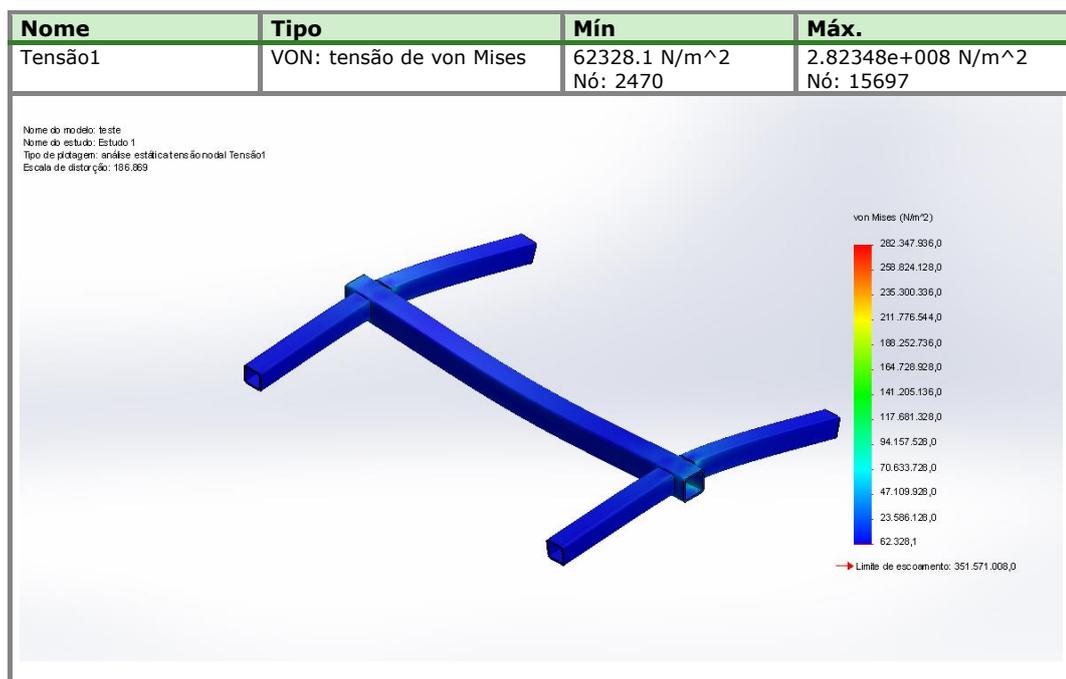
Para a análise estrutural do *tilt rack* superior, primeiramente foram buscados os dados para entender quais estariam sendo os maiores pesos atualmente aplicados no equipamento, desta forma com base nas informações da empresa os itens cadastrados em *tilt rack* não ultrapassam a faixa de 1000 kg, conforme pode ser visualizado na Figura 21 com 91,1% a grande maioria dos itens não ultrapassa o valor de 400 kg.

Figura 21 - Peso total da embalagem



Considerando o caso de maior peso e identificada a estrutura que estaria diretamente sendo submetida a carga da embalagem, foram obtidas as informações de especificação do material possibilitando simular virtualmente com o auxílio do *software Solid Works* como seria o comportamento do dispositivo quando submetido a carga de 1000 kg. Na Figura 22, pode ser observado que a tensão limite de escoamento do aço AISI1020 é de 351,5 MPa e a máxima sofrida no conjunto seria de 282,3 MPa.

Figura 22 - Análise de elementos finitos



Desta forma, foi possível analisar a capacidade máxima de peso de todas as embalagens e entender que 100% dos *tilt racks* estão estruturalmente adequados para as cargas submetidas em sua operação.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio de conceitos abordados na revisão bibliográfica, possibilitou-se o entendimento da importância da definição do conhecimento do comportamento dos materiais para que sejam projetados equipamentos cada vez mais apropriados ao uso na manufatura de empresas, sendo que o dimensionamento estrutural esteja diretamente ligado a questões práticas de utilização e principalmente a integridade do trabalhador garantido o uso de forma correta.

Com o auxílio de ferramentas de análise virtual e equações muito bem conceituadas foi proporcionado um entendimento ilustrativo por escala de cores onde para questões ergonômicas apresentou um baixo percentual de itens que requer algum tipo de alteração no processo sendo que para os demais podem ser mantidos. Quanto a questão estrutural após a análise com o auxílio do *Solid Works*, entende-se que o dispositivo está adequado estruturalmente para todas as aplicações atualmente utilizadas, atendendo a carga aplicada de 1000 kg sobre a sua estrutura.

Desta forma, a análise tem como resultado principal o entendimento de que o dispositivo está adequadamente dimensionado, bem como sua aplicação nas linhas de manufatura permitem o trabalho de forma ergonomicamente correta onde procedimentos de utilização complementam o trabalho para que o *tilt rack* seja manuseado da melhor forma possível.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Devido ao presente trabalho estar apresentando uma análise estrutural utilizando ferramentas de análise virtual, seria uma oportunidade de estudo efetuar a análise prática do comportamento da estrutura com o auxílio de equipamentos de análise metalográfica e também ensaios de tensão e deformação.

Outro estudo que poderia ser efetuado é de calcular o ângulo ideal de inclinação, observando o menor esforço físico necessário para o operador considerando os pontos de apoio da carga e a força atuante sobre a estrutura da base superior do *tilt rack*.

Como terceira sugestão, uma oportunidade de estudo seria aprofundar mais a análise ergonômica considerando todo o ambiente que envolve a atividade voltada ao *tilt rack*, considerando além dos fatores do peso unitário da peça, fatores externos e condições de uso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Avelino Filho. **Elementos Finitos: a base da tecnologia CAE: análise não linear**. São Paulo: Érica, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9001:2000: **Sistema de Gestão da Qualidade** – Requisitos. Rio de Janeiro, 2000.

BARBOSA, Antonio Nunes Filho. Projeto e desenvolvimento de produtos. São Paulo: Atlas, 2009.

BEER, Ferdinand Pierre; JOHNSTON, Russel Jr. **Resistência dos Materiais**. 3 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1996.

BRASIL. NR 17 - Ergonomia. Portaria MTPS n.º 3.751, de 23 de novembro de 1990. Esta Norma Regulamentadora visa a estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente. **Ministério do Trabalho e Emprego**, Brasília.

FALCONI, Vicente Filho. **Qualidade Total: padronização de empresas**. 3 ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992.

IIDA, Itiro. **Ergonomia: projeto e produção**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

MASIERO, Gilmar. **Introdução à Administração de Empresas**. São Paulo: Atlas, 1996.

MELCONIAN, Sarkis. **Mecânica Técnica e Resistência dos Materiais**. 10 ed. São Paulo: Érica, 1999.

NOVEX. **Como Escolher o Modelo Adequado**: Para escolher a roda ou rodízio adequado. Disponível em: <<http://www.novex.com.br/br/catalogo/como-escolher-o-modelo-adequado>>. Acesso em: 30 out. 2013.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre R. **Administração da Produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.

POPOV, Egor Paul. **Introdução à mecânica dos sólidos**. São Paulo: Edgard Blücher, 1978.

PRODERGO. Produzindo Ergonomia com Qualiade. Disponível em: <[http://www.prodergo.com.br/fckeditor/downloads\\_gerencivel.asp](http://www.prodergo.com.br/fckeditor/downloads_gerencivel.asp)>. Acesso em: 22. out.2013.

RENDER. **Conceitos e estudos de tensões e deformações**. Disponível em: <<http://www.render.com.br/curso/desvendando-a-analise-de-elementos-finitos>>. Acesso em: 06 nov. 2013.

ROCHA, H. M. **Arranjo Físico Industrial**. 2011. Apostila – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SCHIOPPA. **Como Selecionar Rodas e Rodízios**. Disponível em: <<http://www.schioppa.com.br/pt/guia-pratico/como-selecionar-rodas-e-rodizios>>. Acesso em: 30 out. 2013.

SILVA, Sergio Carvalho (2007). Ferramentas para análise ergonômica do trabalho. Disponível em: <<http://www.drsergio.com.br/ergonomia/curso/Niosh.html>>. Acesso em: 03 out. 2013.

TOP ERGONOMIA. Consultoria em Ergonomia e Qualidade de Vida no Trabalho. Disponível em: <<http://topergonomia.wordpress.com/2008/04/01/ferramentas-ergonomicas-niosh>>. Acesso em: 26 set. 2013.

WALTERS *et al.*, 1993 *apud* IIDA, Itiro. **Ergonomia: projeto e produção**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.