

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIA

FELIPE LORENÇO

**PROJETO DE UM SISTEMA DE NIVELAMENTO PARA DOCA EM CENTROS
LOGÍSTICOS**

CAXIAS DO SUL
2020

FELIPE LORENÇO

**PROJETO DE UM SISTEMA DE NIVELAMENTO PARA DOCA EM CENTROS
LOGÍSTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso II (MEC0291AA) apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica. Área de concentração: Projeto de Máquinas.

Orientador: Prof. Me. Vagner Grison

CAXIAS DO SUL

2020

FELIPE LORENÇO

**PROJETO DE UM SISTEMA DE NIVELAMENTO PARA DOCA EM CENTROS
LOGÍSTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso II (MEC0291AA) apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica. Área de concentração: Projeto de Máquinas.

Orientador: Prof. Me. Vagner Grison

Banca examinadora

Prof. Me. Vagner Grison
Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. Me. Paulo Roberto Linzmaier.
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Marcos Alexandre Luciano.
Universidade de Caxias do Sul - UCS

CAXIAS DO SUL

2020

RESUMO

O propósito deste trabalho foi projetar um sistema de nivelamento que minimize as condições inseguras de trabalho. Em específico, quando existem diferenças significativas entre altura da doca de um centro logístico e o compartimento de carga de um veículo. O mecanismo consiste em uma plataforma superior que possui movimentação vertical, elevando ou baixando o carregamento. E quando as diferenças entre altura da doca e compartimento de carga forem pequenas, a plataforma superior pode inclinar formando uma rampa entre a doca e compartimento de carga do veículo. O projeto do sistema nivelamento consistiu em realizar o processo de desenvolvimento de produto, tendo como entrada as expectativas do cliente, definindo um conceito adequado as necessidades do cliente em questão. O sistema foi projetado baseado nos veículos comerciais e embasado pela norma NBR 8400 (Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas). Além do dimensionamento dos componentes estruturais do sistema, uma análise sob os aspectos de segurança foi realizada. Contudo, o sistema de nivelamento desenvolvido apresentou diferenças entre os sistemas de nivelamento disponíveis no mercado, se destacando pela flexibilidade de nivelamento. Foi possível realizar o nivelamento com veículos cujo compartimento de carga está situado a 600 mm do piso e com veículos onde o compartimento de carga possui uma altura de 1200 mm. Isso foi possível, graças ao posicionamento de uma das articulações ficar 210 mm abaixo do nível do solo. A necessidade de colocar o sistema de nivelamento abaixo do piso, não foi apenas em função da amplitude de movimentação, mas também equilibrar as forças internas da estrutura. Também foi necessário desenvolver uma viga com seção variável, colaborando para atingir com plenitude a movimentação do sistema e reduzindo a massa do mesmo. O sistema de nivelamento projetado não oferece tendência ao tombamento da empilhadeira, contudo a orientação da altura de elevação da carga carregada deve ser respeitada.

Palavras-chave: Sistema de nivelamento; Movimentação de carga; Doca; Compartimento de carga.

ABSTRACT

The purpose of this work was to design a leveling system that minimizes unsafe working conditions. In particular, when there are significant differences between the height of a logistics center's dock and the cargo compartment of a vehicle. The mechanism consists of an upper platform that has vertical movement, raising or lowering the load. And when the differences between dock height and cargo compartment are small, the upper platform can tilt to form a ramp between the vehicle's dock and cargo compartment. The leveling system project consisted of carrying out the product development process, having the customer's expectations as input, defining an adequate concept to the needs of the customer in question. The system was designed based on commercial vehicles and based on the NBR 8400 standard (Calculation of equipment for lifting and moving loads). In addition to the design of the structural components of the system, an analysis under the security aspects was carried out. However, the leveling system developed showed differences between the leveling systems available on the market, standing out for the leveling flexibility. Leveling was possible with vehicles whose load compartment is located 600 mm from the floor and with vehicles where the load compartment has a height of 1200 mm. This was possible because part of the leveling system needs to be 210 mm below the ground. The need to place the leveling system below the floor was not only due to the range of movement, but also to balance the internal forces of the structure. It was also necessary to develop a beam with a variable section, collaborating to achieve full movement of the system and reducing its mass. The leveling system designed does not tend to tip the forklift, however the orientation of the lifting height of the loaded load must be respected.

Keywords: Leveling system; Cargo handling; Dock; Cargo compartment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aspecto de uma doca (a) nivelada e (b) desnivelada com o assoalho do veículo.....	13
Figura 2 – Máquinas de elevação e transporte.....	16
Figura 3 – Mecanismo de Scott Russel.....	18
Figura 4 – Variações de tensão ao longo do tempo.....	22
Figura 5 – Grau de importância das necessidades dos usuários	31
Figura 6 – Fluxograma de atividades do projeto conceitual.....	33
Figura 7 – Conceito do sistema de nivelamento.....	35
Figura 8 – Posição crítica da empilhadeira.....	39
Figura 9 – Componentes dimensionados.....	40
Figura 10 – Diagrama de corpo livre.....	42
Figura 11 – Sistema de nivelamento.....	43
Figura 12 – Sistema de nivelamento junto à doca de centro logístico.....	43
Figura 13 – Distribuição das forças internas.....	44
Figura 14 – Forças axiais.....	45
Figura 15 – Perfil da viga I.....	46
Figura 16 – Deflexão máxima da viga.....	46
Figura 17 – Elevação de carga.....	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Índices de acidentes de trabalho ocorridos no Brasil.....	12
Quadro 2 – Matriz morfológica.....	26
Quadro 3 – Métodos de avaliação para o produto.....	28
Quadro 4 – Checklist.....	29
Quadro 5 – Especificações meta.....	31
Quadro 6 – Resultados da matriz QFD.....	32
Quadro 7 – Identificação dos coeficientes de ponderação.....	36
Quadro 8 – Identificação do coeficiente de flambagem.....	37
Quadro 9 – Identificação da deflexão máxima.....	38
Quadro 10 – Identificação das alturas de compartimento de carga.....	38
Quadro 11 – Propriedades mecânicas dos materiais.....	40
Quadro 12 – Componentes dimensionados.....	40
Quadro 13 – Força axial máxima.....	45

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CNT	Confederação Nacional de Transporte
IBPT	Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação
PDP	Processo de desenvolvimento de produto
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CAT	<i>Computer Aided Tolerancing</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

f_d	Resistência admissível de um material
γ_m	Coefficiente de ponderação
f_k	Resistência de um material
γ_f	Coefficiente segurança global
$\delta_{m\acute{a}x.}$	Deflexão máxima
$R_{Dianteira}$	Reação do eixo dianteiro
P_{Carga}	Força peso da carga
$P_{Empilhadeira}$	Força peso da empilhadeira
F_{at}	Força de atrito
M_{Carga}	Massa da carga
$M_{Empilhadeira}$	Massa da empilhadeira
$\overline{Y}_{Emp.}$	Centro de massa vertical da empilhadeira
$\overline{X}_{Emp.}$	Centro de massa horizontal da empilhadeira
\overline{Y}_{Carga}	Centro de massa vertical da carga
\overline{X}_{Carga}	Centro de massa horizontal da carga

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	15
1.2.1	Objetivo Geral	15
1.2.2	Objetivos Específicos.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	TRABALHOS CORRELATOS	16
2.2	MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE.....	17
2.3	SISTEMAS DE ELEVAÇÃO	18
2.4	ESTRUTURA DAS MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO	20
2.5	PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO (PDP)	24
2.5.1	Projeto Informacional.....	25
2.5.2	Projeto Conceitual.....	26
2.5.3	Projeto Detalhado.....	28
3	PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO	30
3.1	PROJETO INFORMACIONAL.....	30
3.2	PROJETO CONCEITUAL.....	32
3.3	REQUISITOS PARA O DIMENSIONAMENTO	36
3.4	REQUISITOS DE MOVIMENTAÇÃO	38
3.5	FORÇAS INTERNAS	39
3.6	SELEÇÃO DE MATERIAL	39
3.7	GEOMETRIA DOS COMPONENTES	40
3.8	ASPECTOS DE SEGURANÇA.....	41
4	RESULTADOS.....	43
4.1	SISTEMA DE NIVELAMENTO	43
4.2	EQUALIZAÇÃO DAS FORÇAS INTERNAS	44
4.3	VIGA PLATAFORMA	45

4.4	ANÁLISE DE SEGURANÇA.....	46
5	CONCLUSÕES	48
	REFERÊNCIAS.....	49
	Apêndice A – Projeto Informacional	52
	Apêndice B – Projeto Conceitual.....	62
	Apêndice C – Forças Internas.....	71
	Apêndice D – Cálculo das Tensões	80
	Apêndice E – Aspectos de Segurança.....	87

1 INTRODUÇÃO

O processo de transportar mercadorias teve seu início com o uso animal, até chegar ao uso de barcos caminhões e aviões. A evolução não ocorreu apenas com o transporte de passageiros, mas também com os produtos. A diversidade e a alta demanda de consumo obrigaram os sistemas logísticos a se desenvolverem para transportar uma diversidade cada vez maior de produtos, sempre aliado com um menor tempo possível.

Essa evolução do processo de transportar mercadorias resultou em construção de centros logísticos, onde atualmente se concentra o maior fluxo de mercadoria. Uma parcela dos centros logísticos são construções dimensionadas para absorver fluxos de caminhões, vans, empilhadeiras e a constante atividade de carregar e descarregar esses veículos.

Nem sempre os operadores logísticos possuem a devida infraestrutura para realizar o processo de carga e descarga dos veículos, ou espaço físico dimensionado para suportar o constante fluxo. Essa falta de infraestrutura gera filas de caminhões aguardando o momento em que serão descarregados. Essas filas são geradas pela falta de agendamento prévio por parte do operador logístico, ou por existir um descompasso nos mesmos ou o cliente não tem espaço físico para descarregar (BORTOLIN, 2015).

É importante destacar que quando um caminhão chega a um centro logístico, o mesmo aguarda para ser carregado ou descarregado. Existe um tempo máximo de cinco horas em que o caminhoneiro deve aguardar para realizar a atividade. Quando o tempo de espera é superado, o caminhoneiro pode cobrar uma multa ao centro logístico em função do tempo de aguardo já ter superado às cinco horas (BORTOLIN, 2015).

O Brasil é um país cuja frota de veículos de carga vem aumentando. O fluxo intenso de movimentação de mercadorias nas docas de centros logísticos, aliados a falta de infraestrutura tornam a operação carga e descarga suscetível a acidentes de trabalho. Pode-se observar no Quadro 1 os números de acidentes ocorridos no Brasil relacionados com diferentes atividades laborais. No ano de 2018, foram registrados no Brasil 13261 acidentes relacionados em transportes de cargas. Dentre as 15 categorias analisadas no Quadro 1, a atividade relacionada com transporte de cargas aparece em 4º lugar.

A Confederação Nacional de Transporte (CNT) apontou que no intervalo de 2009 até 2017, a frota de veículos rodoviários aumentou 63%. Segundo o Índice de Eficiência Logística, o Brasil ocupa o 41º lugar em uma lista de 155 países, evidenciando a precariedade

na infraestrutura de transporte. Essa por sua vez engloba não só os requisitos de estradas, mas também os aspectos de armazéns, portos e centros logísticos.

Existe uma diversificada gama de veículos leves e pesados. Em 2018 o Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação (IBPT) informou que no Brasil há 65,8 milhões de veículos sendo 7 milhões veículos comerciais leves (10,67%), e 2 milhões são caminhões (3,09%).

Quadro 1 – Índices de acidentes de trabalho ocorridos no Brasil.

CNAE	2016	2017	2018	Principais CNAE de 2018
8610	55870	53696	55931	Atividades de atendimento hospitalar
4711	21614	21463	23345	Comércio varejista
8411	16629	17190	17452	Administração pública geral
4930	13135	12833	13261	Transporte de carga
1012	9797	10543	11885	Abate de suínos em matadouros, frigoríficos
5310	14738	12838	10672	Atividades de correio
5611	9872	10133	10599	Alojamento e alimentação (bares, restaurantes, etc)
4120	11917	9292	9291	Construção de edifícios
1011	6285	7500	8416	Abates de reses (exceto suínos)
3811	6552	6639	7655	Água, esgoto e atividades de resíduo
1071	7395	6545	6082	Fabricação de açúcar
4921	6593	6201	5936	Transporte rodoviário de passageiros
6422	6426	5386	5289	Atividades financeiras
4744	5550	5405	5233	Comércio varejista de ferragens
8630	4265	4359	4862	Atividades ambulatoriais
Total	585626	557627	576951	

Fonte: Funda Centro (2020)

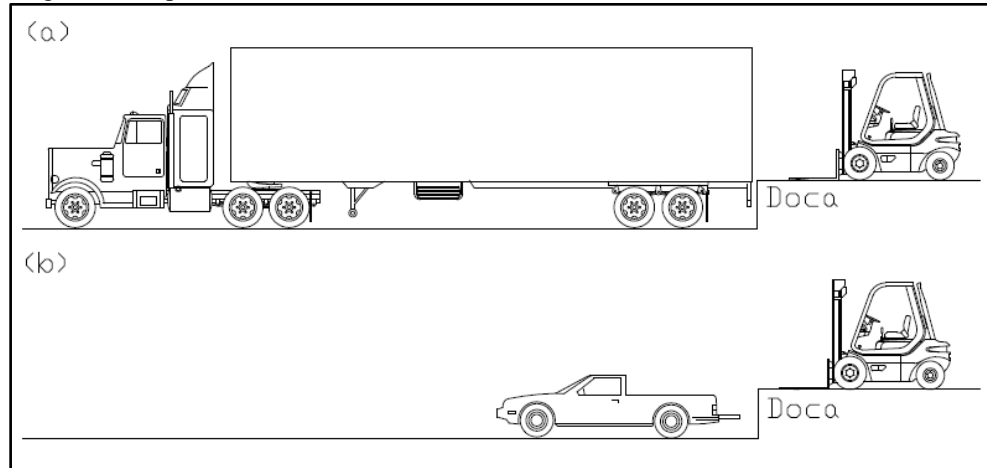
Em função da diversidade de veículos de carga existentes no Brasil, e as ocorrências de acidentes de trabalho ocorridos no Brasil (Quadro 1), os centros logísticos precisam rever suas questões de infraestrutura, sejam elas tanto por questões de segurança para seus colaboradores, bem como a velocidade nos fluxos de mercadoria.

A Figura 1 ilustra uma situação que ocorre em doca referente às discrepâncias entre a altura da doca e altura do compartimento de carga do veículo. Na Figura 1(a), existe um nivelamento que favorece o carregamento ou descarregamento do veículo, sem gerar operações inseguras. Na Figura 1(b), há uma falta de nivelamento, tornando difícil o processo de carregamento ou descarregamento do veículo.

As docas existentes em centros logísticos são desenvolvidas para ter um nivelamento adequado a um veículo de grande porte, geralmente um caminhão acoplado a um semirreboque. Quando o dimensionamento da doca se baseia em um único modelo de veículo,

o mesmo compromete as condições de carregamento de outro veículo que não possui as mesmas características.

Figura 1 – Aspecto de uma Doca (a) nivelada e (b) desnivelada com o assoalho do veículo



O Autor (2020)

Este trabalho visa estudar soluções de nivelamento em docas para carregamentos de veículos comerciais e propor uma solução que colabore com a segurança dos usuários minimizando o tempo de descarga. O sistema de nivelamento deve ser capaz de nivelar uma empilhadeira ou uma paleteira com compartimento de carga do veículo. O mesmo deve favorecer o acesso ao compartimento de carga de veículos, em específico dos veículos que possuem o compartimento de carga com a altura inferior a altura da doca.

TEMA

O trabalho proposto aborda questões relacionadas à engenharia mecânica, envolvendo análise estrutural de um sistema de nivelamento de doca e veículo. Os tópicos abordados para esse estudo são relacionados à mecânica dos sólidos e projeto de máquinas em específico, no dimensionamento de juntas soldadas e integridade estrutural.

1.1 JUSTIFICATIVA

O uso de doca em centros logísticos auxilia com o carregamento e descarregamento de caminhões, colaborando com o fluxo intenso de materiais. Todavia, as docas existentes não estão preparadas para equalizar a variabilidade de veículos de carga que existem. Essa variabilidade de veículos de carga colabora para esses desníveis, gerando operações inseguras

para trabalhadores, podendo resultar em acidentes de trabalho. O desenvolvimento de um sistema que seja capaz de nivelar a altura de doca e altura do compartimento de carga dos veículos, possibilitando uma operação mais segura, evitando a execução de nivelamento improvisado, que pode gerar acidente.

Contudo, uma análise minuciosa deve ser feita, baseada nas premissas anteriores onde questões como segurança, variabilidade de veículos de carga, devem ser requisitos para um sistema de nivelamento. O dimensionamento correto de cada componente desse sistema pode gerar interpretações diferentes por se tratarem de carregamentos com uma possível variabilidade. Essa interpretação equivocada pode resultar em falhas estruturais do sistema proposto, tornando operações inseguras para os usuários. Para as questões de nivelamento deve ser dada uma atenção. A mesma deve equalizar as discrepâncias existentes, mantendo o foco na segurança e agilidade no carregamento do veículo.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de nivelamento que reduza as condições de desnível entre doca e veículo.

1.2.2 Objetivos Específicos

Objetivo geral é distribuído entre os objetivos específicos citados abaixo:

- a) pesquisar as possibilidades de nivelamento;
- b) avaliar as cargas atuantes na estrutura proposta;
- c) especificar as partes estruturais do sistema de elevação;
- d) definir o melhor conceito;
- e) avaliar aspectos de segurança;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo são abordadas questões específicas sobre elevação de cargas, análise estrutural e demais conceitos utilizados para o desenvolvimento do sistema proposto.

2.1 TRABALHOS CORRELATOS

Sun et al. (2020) realizou estudos referente a sistema de nivelamento, em seu estudo utiliza recursos hidráulicos para nivelar a máquina em terrenos acidentados, proporcionando uma operação segura e aumentando a eficiência durante o processo.

Gonzi et al.(2006) analisou o uso de mecanismo chamado de ligação pantográfica em máquinas de elevação. O uso desse sistema permite a utilização de uma plataforma que se movimenta no sentido vertical, para elevar ou baixar uma carga. Um aspecto importante para esse tipo de mecanismo é a posição da plataforma (mesa), que durante a movimentação vertical do sistema, a plataforma permanece paralela ao plano de apoio da máquina (piso).

Durante o estudo de sistema de elevação pantográfico, Hongyu et al. (2010) frisa que o mecanismo é utilizado em máquinas de elevação com diferentes aplicações. Os requisitos de projeto estão em constante alteração em função de novas aplicações, pois, há expectativas para que a capacidade de carga seja ampliada, os movimentos possam ser executados com maior velocidade. Torna-se crucial o dimensionamento estrutural do sistema de elevação pantográfico, pois a geometria e a escolha de como a força irá atuar no sistema está diretamente ligada ao desempenho do mesmo. Rashid et al. (2012) salienta que a estrutura de sistemas de elevação pantográfica deve ser projetada para suportar cargas de tensão máximas, para que não falhem durante a operação.

Lei et al. (2012) fomenta o uso de sistemas hidráulicos em máquinas, ressaltando os recursos disponíveis como: ser favorável à movimentação de cargas, possuir controle de movimentação, reversibilidade rápida, além dos recursos disponíveis para segurança. Por exemplo, em situações de corte de energia elétrica, há recursos que propiciam o sistema ficar parados ou retornar a condição em que todo sistema é despressurizado, sem a dependência da energia elétrica. Tang et al. (2018) em seu estudo corrobora com Lei et al. (2012), usado o recurso dos sistemas hidráulicos para aumentar a estabilidade de veículos que possuem três rodas melhorando o sincronismo de movimentações.

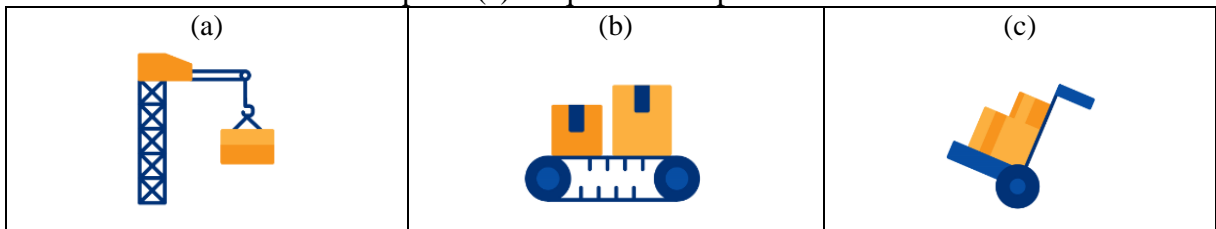
2.2 MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE

As máquinas de movimentação de carga estão presentes em nossa civilização desde que se teve a necessidade de transportar um material, de maneira contínua ou elevar essa carga até diferentes alturas.

Rudenko (1967) sugere uma classificação entre os equipamentos de elevação e movimentação de carga. Existem necessidades distintas quando se trata de movimentação de carga, exemplo: Em uma linha de montagem existe uma esteira, a fim de manter um fluxo constante dos produtos. Na construção civil, o uso de guindastes para elevar materiais em diferentes alturas. Em almoxarifados, o uso de paleteiras ou carrinhos, para movimentar as mercadorias. As máquinas de elevação e transporte são classificadas em: máquinas de elevação, máquinas de transporte e equipamentos de superfície elevada.

As máquinas de elevação estão inseridas no cotidiano das pessoas, as mesmas são utilizadas tanto em escala industrial, comercial e residencial, são concebidas com objetivo de movimentar um objeto na vertical. Exemplos de máquinas de elevação são guindastes, elevadores Figura 2(a). As máquinas de movimentação são um grupo de equipamentos que tem como objetivo transportar uma mercadoria até outra posição, a movimentação ocorre conforme a necessidade podendo ser de maneira contínua ou não. Pode ter variações de altura entre a posição inicial e final da mercadoria, depende muito de cada aplicação. Exemplos desse modelo de máquinas são esteiras, braços pneumáticos ou hidráulicos, transportador helicoidal Figura 2(b). As máquinas de superfície elevada são um grupo equipamentos que tem por objetivo apenas mudar a posição de uma mercadoria, geralmente se manuseia carga e lotes, um exemplo seria um carrinho ou paleteira Figura 2(c).

Figura 2 – Máquinas de Elevação e Transporte (a) máquinas de elevação (b) máquinas de transporte (c) máquinas de superfície elevada



Fonte: Adaptado de Freepik (2020).

As máquinas de elevação e transporte são classificadas em função das necessidades específicas de cada uma, também o tipo de carga que as mesmas irão transportar e a

velocidade necessária para essa movimentação. Os equipamentos de elevação e transporte são fabricados em grande variedade e modelos, cada um com características operacionais distintas, cabendo a cada indústria entender o funcionamento e aspectos de cada um, para realizar uma aquisição mais assertiva (RUDENKO, 1967).

Rudenko (1967) salienta que a máquina de elevação e transporte, deve empregar um número pequeno de colaboradores, tanto para operação como manutenção. O equipamento não deve danificar a carga e nem dificultar o processo, bem como a operação deve ser segura e econômica. Paoleschi et al. (2017) orienta para o dimensionamento desses equipamentos que deve estar voltado para máxima utilização e flexibilidade, como vai ser realizada a carga e descarga e o tipo de material que vai ser transportado.

2.3 SISTEMAS DE ELEVAÇÃO

A máquina de elevação tem por objetivo elevar ou baixar uma carga até uma altura paralela. Para elevar ou baixar uma carga, é possível utilizar recursos que geram uma força necessária para movimentar a carga.

Os sistemas de elevação concebidos de sistemas hidráulicos são: empilhadeira, macaco hidráulico, mesa elevadora, plataforma elevatória. O uso de sistemas hidráulicos não se limita apenas as máquinas de elevação. Em função da capacidade de gerar grande capacidade de força com um tamanho reduzido, características de fácil instalação, grande flexibilidade inclusive em espaços reduzidos, os sistemas hidráulicos são usados em diferentes modelos de máquinas (FIALHO, 2011).

O uso de sistemas hidráulicos permite um controle preciso dos deslocamentos dos cilindros, e uma mudança muito rápida na direção de movimento. Turner (1997) chama atenção para o uso de sistemas hidráulicos combinados com o uso da eletrônica, afim de elevar o nível de controle sob um determinado processo. Com o uso da eletrônica, vários sistemas de monitoramento podem ser instalados, deixando a operação mais segura e a prova de sobrecarga (TURNER, 1997).

A capacidade de gerar força é uma característica positiva dos sistemas hidráulicos. Fialho (2011) chama atenção para as deformações por flambagem que os cilindros hidráulicos estão suscetíveis, pois os mesmos são projetados para suportar cargas de tração e compressão. A interface entre cilindro hidráulico e elemento de fixação é um fator importante para o

dimensionamento correto. Fialho (2011) frisa para analisar as condições de contorno para determinar um comprimento de haste livre de flambagem.

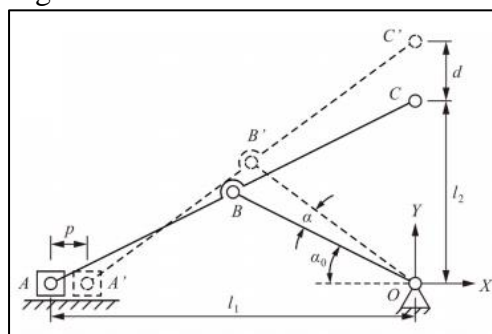
Quando é necessária a construção de um sistema hidráulico robusto, além do dimensionamento correto existem fatores que necessitam serem levados em consideração. Fialho (2011) chama atenção para as perdas de carga dos sistemas hidráulicos. As perdas de carga podem ser distribuídas ou localizadas. As perdas de cargas distribuídas estão associadas ao perfil de velocidades do fluido, e a rugosidade da tubulação. As perdas de cargas localizadas estão associadas a conexões (luvas, joelhos, curvas), modelos de válvulas e dissipação térmica.

Em sistemas hidráulicos cuja capacidade de carga é elevada ou que existam variações como oscilações e choques, são comuns o uso de acumuladores para absorver tais variações. Fialho (2011) frisa que o uso de acumuladores em sistemas hidráulicos visa absorver tais flutuações de pressão na tubulação, protegendo componentes como motor válvulas e demais componentes que possuem um valor elevado.

O uso de acumuladores também está associado a fatores como compensar algum vazamento, fonte de potência auxiliar entre outras. Em situações onde é necessário sustentar uma carga em uma posição, pode-se utilizar um acumulador para manter a pressão constante no caso de algum possível vazamento ou variações da carga (FIALHO, 2011).

Uma máquina geralmente está associada à movimentação, converter uma fonte de energia em trabalho, os componentes de máquina possuem movimentos relativos uns em relação a outros, as conexões entre os componentes podem transmitir movimentos ou converter um movimento de rotação em translação (KHURMI e GUPTA, 2005). A Figura 3 mostra o mecanismo de Scott Russel que transforma um movimento retilíneo em outro movimento retilíneo na direção perpendicular ao primeiro movimento. Quando o ponto P se movimenta no eixo horizontal, o ponto Q realiza um movimento no eixo vertical.

Figura 3 – Mecanismo de Scott Russel



Fonte: adaptado Qin (2013)

Dentre os atributos do mecanismo de Scott Russel, Qin (2013) aborda alguns aspectos dos mecanismos, como a linearidade durante a movimentação, alta estabilidade e em função dos comprimentos das barras o mecanismo pode amplificar as movimentações.

2.4 ESTRUTURA DAS MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO

As máquinas de elevação são encontradas em pequenos armazéns, canteiros de obras, siderúrgicas, portos e entre outros. Embora cada ambiente tenha uma máquina adequada à necessidade, o objetivo dessas máquinas é movimentar carga, e estão sujeitas a solicitações repetidas (elevar e abaixar). Brasil (1988) frisa para o local onde a máquina se encontra, pois é um fator que deve ser levado em consideração, à degradação em função do ambiente como, por exemplo, um equipamento que opera em ambientes com produtos químico ou material em fusão (fundição), terá mecanismos de desgaste diferentes a uma máquina que opera em um centro logístico.

Em função de tamanha variabilidade de máquinas e ambientes, se faz necessário uma classificação em: classe de utilização e estado de carga, conforme NBR 8400 (1984). A classe de utilização compreende os fatores de levantamento onde se estipula um número teórico de ciclos que o equipamento deverá realizar em sua vida. O estado de carga está relacionado à magnitude da carga em seu uso, como por exemplo: equipamento levanta excepcionalmente carga nominal e muito comum cargas reduzidas ou equipamento normalmente com carga nominal.

A estrutura da máquina de elevação é concebida para além da elevação de cargas, sustentar os demais componentes necessários para o funcionamento da mesma. Todo o carregamento é transmitido para uma fundação fixa ou a elementos de apoio que propiciem travamento da máquina. A máquina deve apresentar resistência e estabilidade em toda construção, significa que a rigidez adequada é o principal requisito para uma operação segura, por isso Rudenko (1967, p. 306) salienta que “[...] o projeto e a solução de uma estrutura de uma máquina de elevação devem ser fornecidos com grande precisão”.

Juvinall et al. (2017) chama atenção para deflexão que geralmente deve ser um fator de controle no projeto. Quando o componente ou estrutura é concebida para satisfazer requisitos de rigidez, as tensões vão ser baixas e podem-se eliminar problemas como vibrações. Por outro lado, deflexões excessivas podem gerar até mesmo interferências entre componentes. Como por exemplo, caso um eixo com engrenagens não possua a rigidez

necessária, o mesmo pode fletir. Shigley et al. (2005) chama atenção para deflexão em mecanismos que podem gerar ruído em excesso, desgaste ou falha prematura.

Existe uma relação entre deflexão e tensão. Shigley et al. (2005) descreve que um corpo rígido não apresenta mudança quando está sob ação de uma força. A premissa de um corpo rígido cuja deformação seja nula é uma idealização, pois todos os corpos reais deformam-se sob ação de uma força. As máquinas de elevação são equipamentos com uma capacidade de levantamento de carga sujeitas a deformações. Por isso, para possuir um funcionamento seguro, a NBR 8400 (1984) solicita ensaios dinâmicos e estáticos. O ensaio dinâmico é realizado com 120% da carga nominal e todos os movimentos devem ser executados. Já o ensaio estático é realizado com 140% da carga nominal, sendo comum realizar a medição da deformação sofrida pela estrutura do equipamento.

Parte da estrutura de uma máquina de elevação que está submetida a tensões compressivas pode estar sujeita à falha por flambagem. A NBR 8400 (1984), NBR 8800 (2008), Rudenko (1967), e Norton (2013), chamam a atenção para elementos submetidos a carregamentos de compressão axial. Norton (2013, p.193) frisa que “[...] a flambagem ocorre de maneira repentina mesmo nos materiais dúcteis e, portanto, é uma das maneiras mais perigosas de falha”. A flambagem é um fenômeno muito crítico em equipamentos de elevação, a NBR 8400(1984) solicita o uso de coeficiente de segurança normatizado.

A NBR 8800 salienta que a flambagem deve ser analisada calculando o índice de esbelte. Mesmo em barras compostas formadas por mais de um perfil, quando submetidas a cargas axiais de compressão, o índice de esbelte deve ser calculado de maneira individual para cada barra.

Norton (2013) frisa que nem sempre o carregamento ocorre de maneira axial, muitas vezes por questões geométricas ou específicas do carregamento a linha de ação da força não está orientada com o centroide da coluna. A excentricidade que se obtém entre a linha de ação da força e a posição do centroide da coluna muda de maneira significativa o efeito do carregamento, pois além da carga de compressão surge um momento provocando uma deflexão lateral.

Embora exista uma diversidade nos modelos de máquinas de elevação, cada uma com aplicações específicas, há critérios de falha comuns entre elas. A fadiga está presente em todos os elementos mecânicos, embora as máquinas de elevação sejam concebidas com um alto nível de rigidez existem diversos coeficientes de segurança a fim se obter tensões de trabalho abaixo das tensões admissíveis. Shigley et al. (2005) afirma que muitos elementos de

máquina falham em função de carregamentos variáveis, muitas vezes abaixo da tensão de escoamento do material.

A NBR 8400 (1984) solicita a realização de um ensaio estático a fim de medir a deflexão total da estrutura nas máquinas de elevação. As falhas estáticas estão associadas a grandes deflexões, onde o material excedeu a resistência ao escoamento. As falhas estáticas dão aviso visível que podem ocorrer, contudo Shigley et al. (2005) frisa que quando a estrutura falha por fadiga estática a mesma é súbita.

Os valores deflexões em uma máquina de elevação é um fator importante e está associado à rigidez da mesma. A NBR 14762 (2010) apresenta valores máximos que uma estrutura pode apresentar. As deflexões máximas diferem em função de cada parte do sistema.

A NBR 14762 (2010) orienta para o uso de coeficientes de ponderação sob os aspectos chamados de ações permanentes e ações variáveis. As ações permanentes são constituídas do próprio peso da estrutura, os elementos fixados a mesma e imperfeições geométricas. As ações variáveis são constituídas de fatores que representam variações significativas durante a vida útil da estrutura como, sobrecargas, ação do vento, variação da temperatura da estrutura.

Quando estabelecido o coeficiente de ponderação a NBR 14762 recomenda o uso de uma equação para o cálculo de resistência do material. A resistência de cálculo f_d de um material é dada pela Equação 1, onde γ_m é o coeficiente de ponderação e f_k é a resistência do material.

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} \quad (1)$$

Diversos elementos de máquina como: eixos, mancais, rolamentos, parafusos, rebites, freios e engrenagens constituem as máquinas de elevação. Estes por sua vez podem estar sujeitos a carregamento estático, intermitente ou alternado. Norton (2013) salienta que embora alguns componentes da máquina sofram carregamento estático em toda sua vida, há componentes que estarão sujeitos a carregamento que variam com o tempo.

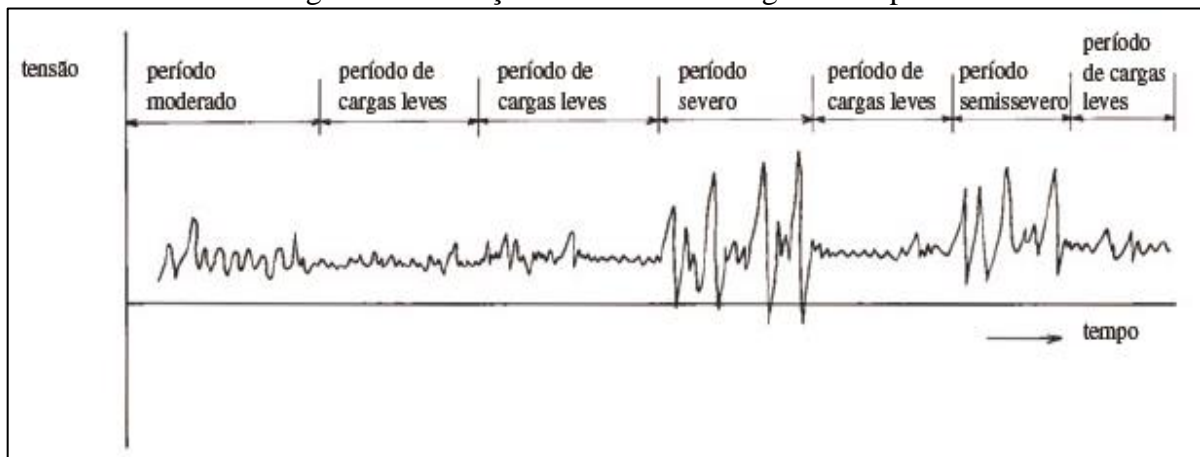
A NBR 8400 (1984) ressalta para a forma do componente, pois uma mudança abrupta na geometria colabora para aumentar a tensão. Norton (2013) frisa que além da condição geométrica devem ser levados em consideração os parâmetros dos materiais, pois embora o componente tenha um concentrador de tensão, há materiais que são mais sensíveis ao mesmo.

Shigley et al. (2005) alerta para outros requisitos, que chama de modificadores do limite de resistência à fadiga. O autor expõe que particularidades como a natureza do

carregamento, as dimensões do elemento estrutural, seu processo de fabricação, a temperatura de operação e o nível de confiabilidade são levados em conta. Com isso, obtém-se uma tensão admissível inferior, quando compara a tensão não considerando os modificadores de limite à fadiga.

A Figura 4 mostra um componente que foi monitorado ao longo do tempo, a fim de entender como é a distribuição de tensão. Shigley et al. (2005) chama atenção apenas para os picos de tensão, seja máximo e mínimo, o formato da curva não é importante. Conhecendo a tensão máxima e a tensão mínima, pode-se descobrir a tensão alternante, tensão média. Não se deve atribuir que a tensão média é a mesma que a tensão estática, Shigley et al. (2005) frisa que a tensão estática está associada a uma carga fixa, independentemente de ocorrer tensões flutuantes no componente, contudo o valor de tensão média pode estar entre a tensão máxima e a tensão mínima.

Figura 4 – Variações de tensão ao longo do tempo.



Fonte: Adaptado Norton (2013).

Definir o modelo de falha por fadiga para uma máquina depende muito da aplicação da mesma, Norton (2013) informa que para máquinas rotativas estacionárias ou móveis, pode-se adotar o modelo tensão-número de ciclos. Norton (2013, p.312) “[...] uma classe de máquinas que trabalham em regime de baixo ciclo corresponde às máquinas de transporte”. É considerado baixo ciclo, pois essas máquinas possuem um histórico de carregamento e as possíveis falhas podem ocorrer em função de um evento significativo. Adasooriya (2016), frisa sob as incertezas de determinar as cargas ao longo do tempo durante a operação, manter preservado o histórico de falhas colaboram substituição de componentes antes de possíveis falhas.

Santos (2008) informa que 50% das falhas em equipamentos estão relacionadas a cargas repetidas. Essas falhas podem ser classificadas como negligência durante o projeto ou uso de um material ou projeto que produz um resultado inesperado. O uso de um novo material ou adaptar um projeto a uma nova solicitação é arriscado. Novos materiais podem oferecer ótimos resultados, porém se faz necessário realizar testes para não se ter como resultado potenciais problemas.

Os aços podem ser submetidos a processos a fim de melhorar a resistência à fadiga. Tratamentos térmicos além de elevar a resistência superficial produzem tensões residuais de compressão. Santos (2008) frisa que processos como jateamento de granalhas, laminação a frio além de tratamento térmico colaboram para melhorar a resistência à fadiga.

Santos (2008) e Brasil (1988) concordam sobre a influência do meio ambiente onde as máquinas estão inseridas, de forma que os fatores ambientais devem ser levados em consideração durante o projeto. Santos (2008) apresenta um comparativo de um aço SAE 1050 expostos ao ar e outra amostra com a presença de água salina. Obteve-se uma redução de 58% no limite de resistência à fadiga do aço em água salina comparado ao aço exposto ao ar.

2.5 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO (PDP)

A competitividade está presente nas empresas, exigindo um olhar mais crítico para o desenvolvimento de novos produtos e o aperfeiçoamento dos produtos já existentes. O processo de desenvolvimento de produto (PDP) contribui para que a empresa se torne competitiva e é importante que seja definido um processo sistemático capaz de mapear as oportunidades e incertezas de cada desenvolvimento.

A indústria automotiva é um segmento que atua forte em PDP, os constantes lançamentos de veículos os obrigam a terem um processo sistemático de como mapear as necessidades dos clientes e converter em especificações para o projeto. Paula et al. (2013) enfatiza que a adoção de um modelo PDP é um fator crítico para alcançar os objetivos estratégicos do produto em questão.

As etapas para o desenvolvimento se baseiam nos tópicos: projeto informacional, conceitual e detalhado. Conforme Rozenfeld et al. (2006), o desenvolvimento consiste em atividades que visam entender as necessidades do mercado, as possibilidades e restrições tecnológicas aliando as estratégias da empresa que está desenvolvendo o produto.

2.5.1 Projeto Informacional

O projeto informacional é uma das etapas mais complexas do PDP. Trata-se de uma árdua busca por informações, que vão colaborar para o desenvolvimento do produto. As informações coletadas podem ser tanto qualitativas como quantitativas e vão orientar como vai se desenvolver o projeto. Nickel et al. (2010, p.707) frisa que o projeto informacional “[...] tem como objetivo gerar a ‘matéria-prima’ principal necessária para se obter, em etapas posteriores, as especificações do projeto e os atributos que o produto finalmente terá quando lançado no mercado”.

Baxter (2011) enfatiza que o produto deve ter forte diferenciação aos possíveis concorrentes e apresentar características valorizadas pelos consumidores. Rozenfeld et al. (2006, p. 215), também sugere que “[...] além de visitar os *sites* adequados na internet, deve-se procurar catálogos e ofertas de produtores concorrentes, assim como a maior quantidade de informações possível relacionadas ao produto que vai ser projetado”.

Os clientes expressam suas necessidades e expectativas de maneira qualitativa e às vezes subjetiva. Durante o desenvolvimento do produto toda a informação precisa se tornar um número ou uma faixa de valores que atenda o requisito do cliente. As empresas podem trabalhar com *Checklist* ou folha de aplicação, para tornar sistêmica a coleta de dados e reduzir as chances de algum dado ou parâmetro ser desconsiderado. Normalmente o *Checklist* já está em uma linguagem técnica própria para orientar os engenheiros na definição das especificações.

Rozenfeld et al. (2006) sugere uma correlação entre os requisitos de projeto e os requisitos de clientes, para analisar se ao modificar um parâmetro com o intuito atender um requisito não causa um efeito negativo em outro parâmetro.

Existem técnicas que auxiliam as especificações do projeto, uma delas muito conhecida chamada de *Quality Function Deployment (QFD)*. O QFD é uma ferramenta que surgiu após a segunda guerra com objetivo de se obter um consenso entre as diferentes definições do produto e criar relações entre os requisitos de clientes e as especificações de produto. A ferramenta é dividida em sete etapas: requisitos de clientes, importância, *benchmarking*, requisitos de produto, matriz de relacionamentos, qualificação dos requisitos do produto e matriz de correlação.

A primeira etapa do QFD, chamada de requisitos de cliente tem como objetivo documentar as expectativas dos clientes para o produto, mapeando quem realmente é o

cliente. Rozenfeld et al. (2006) frisa que além de saber quem realmente é o cliente para o produto em desenvolvimento, é importante conhecer o que os clientes esperam que o produto faça, ou que possibilidades o produto possa oferecer. Na segunda etapa do QFD conhecida como importância, deve-se entender qual é a importância de cada requisito para o cliente, se existe algo que é indispensável para o produto.

Na terceira etapa *benchmarking*, em caso de um produto já fornecido pela empresa Rozenfeld et al. (2006) frisa a importância de saber como o produto se relaciona com os concorrentes, deve-se realizar pesquisas de mercado, informações como reclamações de cliente, histórico de garantias. Caso seja um produto novo as pesquisas descritas anteriormente são válidas, e é importante saber o nível de qualidade desejada pelo cliente e quais os pontos fortes dos concorrentes. Para os requisitos de produto, devem-se informar como e quais especificações vão colaborar para alcançar o requisito de cliente.

Rozenfeld et al. (2006) frisa que durante a etapa da matriz de relacionamento, ocorre a correlação entre os requisitos de cliente e os requisitos de produto monitorando se existe alguma relação ou não. Caso haja relação, deve-se definir qual é a importância, a quantificação dos requisitos irá formar a qualificação dos requisitos do produto. A correlação dos requisitos de produto com a quantificação dos requisitos do produto gera a matriz de correlação, que permite um entendimento do efeito de cada requisito de cliente.

As correlações entre requisitos de cliente e requisitos de produto, aliando a expectativa por produtos novos com diferenciais fomentam a criação de produtos e serviços. O QFD é um método de mapear e relacionar os requisitos para um projeto. Existem outros métodos que colaboram para converter os requisitos de clientes que muitas vezes são qualitativos em uma linguagem de números que é de fato os requisitos de projeto (ROZENFELD ET AL. 2006).

Logo, a realização do projeto informacional orienta como o produto deve ser inserido no mercado. Kang et al. (2018) frisa para não tomar como base as preferências ou experiências passadas, pois tal atitude aumenta o risco quando adotado uma postura de não entender a necessidade do cliente, sendo que as chances de sucesso não ultrapassam os 60%. Por isso, é importante entender as necessidades dos clientes a fim de trazer ao mercado novos produtos e com as mudanças necessárias.













2.5.2 Projeto Conceitual

O projeto conceitual tem como objetivo o desenvolvimento e representação de soluções para atender os requisitos mapeados no projeto informacional. Rozenfeld et al. (2006) aponta que não se devem ter restrições para o desenvolvimento desde que a solução esteja orientada para atender os requisitos. A busca por soluções já existentes também é válida, pesquisa em catálogos, artigos, livros além do processo de criação.

O projeto conceitual vai desenvolver as soluções baseadas em forma e função. Não vai detalhar o produto, mas elaborar diversos conceitos para atender os requisitos solicitados. Baxter (2011, p. 234), frisa a importância de “[...] manter todas as portas abertas para a geração de conceitos, desde que as mesmas sejam formuladas de maneira realista, dentro das possibilidades técnicas e econômicas da empresa”.

Para encontrar possíveis soluções de cada função, existem técnicas que colaboram com a identificação. Baxter (2011) orienta a fazer a pergunta “como” a fim de identificar uma possível solução para a função. No Quadro 2 pode-se observar o exemplo de um equipamento que tem como objetivo separar os mexilhões de possíveis detritos. Foram identificadas três funções para o equipamento e para cada função, algumas possíveis soluções.

Quadro 2 – Matriz Morfológica

Funções	Princípios de solução			
Agrupar mexilhões	 Casca esférica	 Cone	 Funil	 Redução aberta
Agitar mexilhões	 Tambor rotativo	 Caixa vibratória	 Oscilação	 Agitador
Extrair detritos dos mexilhões	 Placa com orifícios	 Eixo com pás	 Cabo rotativo	 Grade vibratória

Fonte: Adaptado de Rozenfeld et al (2006).

É importante registrar todo esse detalhamento para, ainda que de maneira muito superficial, se possa ter ideia do produto e de suas funções. Rozenfeld et al. (2006) orienta para que nessa etapa o projeto deva ser tratado de maneira muito generalizada. Com a conclusão das funções, se torna possível registrar várias possibilidades para solucionar a função desejada, também conhecida como matriz morfológica.

O fato de a matriz morfológica apresentar diferentes soluções para uma função pode-se desenvolver vários conceitos para o produto. Back et al. (2008) e Baxter (2011) orientam para o desenvolvimento de vários conceitos desde que os mesmos estejam orientados em atender os requisitos de clientes e com as expectativas econômicas da empresa.

Durante a etapa do projeto conceitual, a equipe de projetos precisa dar importância para o ciclo de vida do produto. Rozenfeld et al. (2006) chama a atenção para a consequência de não dar a real importância para o aspecto do ciclo de vida do produto, gerando soluções insatisfatórias e elevando os custos de manufatura.

2.5.3 Projeto Detalhado

Com a escolha do conceito a ser desenvolvido, inicia-se a etapa de detalhamento do produto, construção de protótipos e análises de falha. Rozenfeld et al. (2006) sugere que durante a etapa do projeto detalhado já seja estratificado quais itens serão fabricados e quais serão adquiridos. Com essa premissa, a organização já pode contatar possíveis fornecedores que por sua vez possam trazer ideias e conceitos novos para os itens adquiridos, e, para os itens que serão manufaturados a empresa já pode planejar como o produto vai ser fabricado.

Dentre os componentes que integram o produto podem-se ter itens normalizados. Rozenfeld et al. (2006) chama atenção para componentes como rolamentos, acoplamentos, parafusos e perfis estruturais, que são elementos de prateleira. Os mesmos apresentam uma vantagem econômica, desenvolver um componente específico pode deixar o produto menos competitivo.

Para as atividades do projeto detalhado não existe uma ordem para a ocorrência das mesmas, tendo em vista que o conceito foi aprovado, mas as especificações finais do produto ainda não. As atividades apresentam um grau de dependência entre si, com a finalização de teste, as especificações podem sofrer alterações. Deve-se dar uma atenção para a tecnologia presente no produto, quando a mesma é tradicional os equacionamentos e os conhecimentos já são de domínio público, Rozenfeld et al. (2006) frisa que quando a tecnologia é inovadora devem-se utilizar novos equacionamentos e construção de protótipos para uma avaliação mais refinada do produto.

O Quadro 3 elenca os métodos de avaliação, essas avaliações são analíticas, quantitativas e experimentais. Análise de tolerâncias é um parâmetro crítico, a falta de análise pode gerar produtos que não montam ou apresentam dificuldade na manufatura, Rozenfeld et

al. (2006) salienta a importância para que a equipe de desenvolvimento conheça a capacidade dos processos de fabricação.

A análise de tolerâncias pode ser feita de maneira analítica ou via *software*. Simulações virtuais são usadas nas fases iniciais do desenvolvimento, outra maneira de realizar a análise de tolerâncias é com o uso de prototipagem rápida.

Quadro 3 – Métodos de avaliação para o produto

	Qualitativa	Analítica	Experimental
Sem protótipo	Análise de falhas	Análise de tolerâncias	Simulações de CAE, CAT.
Modelo virtual	Realidade virtual	Cálculos específicos	
Com protótipo	Clinicas (<i>Focus group</i>)	Análise de tolerâncias	Experimentos

Fonte: Adaptado de Rozenfeld et al. (2006).

O projeto detalhado é concluído quando os testes estiverem finalizados, os desenhos concluídos, as análises e alterações finalizadas. É o momento em que o produto necessita entrar na fábrica e um novo ciclo de desenvolvimento precisa ser finalizado.

Para cada fase do PDP, Baxter (2011) orienta para um monitoramento da viabilidade econômica do produto e também o atendimento das necessidades básicas do produto, que é um pré-requisito necessário para o sucesso do novo produto.

3 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

Neste capítulo é descrito o objeto de estudo, juntamente com o desenvolvimento do PDP. Posteriormente são apresentados os requisitos e os métodos utilizados para o dimensionamento do sistema de nivelamento.

3.1 PROJETO INFORMACIONAL

Foi realizada uma visita ao cliente, acompanhado o carregamento de um veículo e respondido junto como cliente um *checklist*. No Quadro 4 pode-se observar o *checklist* com as perguntas e respostas do cliente. Ocorreram reuniões com a equipe de logística e outra com a equipe de manutenção. As reuniões tiveram duração de 30 a 60 minutos com a equipe da manutenção e logística.

Quadro 4 – *Checklist*

Estrutura fixa	1 - Existe algum padrão, norma ou item de segurança da empresa que deve ser seguido?
	Resposta: Norma da empresa e padrão não, mas devem ser seguidas as normas de segurança existentes.
	2 - Existe alguma restrição para dimensões?
	Resposta: Deve ocupar o tamanho da doca já existente.
	3 - Que tipo de superfície existe onde se pretende instalar o sistema?
	Resposta: Piso plano em concreto.
	4 - Há alguma restrição para fixação?
Estrutura móvel	Resposta: Não há restrição, pode ser furado o piso.
	11 - Existe espaço próximo à doca para bomba reservatório de óleo?
	Resposta: Sim. Mas procurar não colocar nada no lado direito. Há veículos furgão onde geralmente o acesso ao compartimento de carga fica no lado direito.
Sistema de energia	12 - O sistema precisa ser rápido?
	Resposta: Não precisa ser muito rápido, mas também ficar esperando muito tempo não dá.
Sistemas de controle	13 - Possui rede de energia trifásica?
	Resposta: Sim. (conclusão)
Sistemas de controle	14 - O sistema de controle pode ser em um painel com botões ou controle remoto?
	Resposta: Painel com botões.
	15 - O sistema de controle deve ser inserido próximo à doca?
	Sim, de preferencia no lado esquerdo, deixar o lado direito livre para acesso.

Fonte: o autor (2020)

Por parte da equipe de manutenção se obteve orientações de usar itens de prateleira, que sejam fáceis de encontrar, questões como facilidade de acessar as partes do sistema, se o sistema possuir peças grandes que seja inserido algum ponto ou elemento para

que se possa içar esses componentes durante uma manutenção. O *checklist* foi respondido junto com o cliente, com a presença das pessoas envolvidas no processo de carregar e descarregar. As perguntas e respostas referentes ao projeto informacional encontram-se junto ao Apêndice A.

Após entender os recursos disponíveis e restrições de carregamento da empresa visitada, foi realizado um *benchmarking* para verificar se as soluções disponíveis no mercado apresentam alguma relação com as dificuldades apresentadas pela empresa. Em função das necessidades da empresa e as soluções que o mercado oferece, pode-se chegar às especificações meta descritas no Quadro 5:

Quadro 5 – Especificações Meta

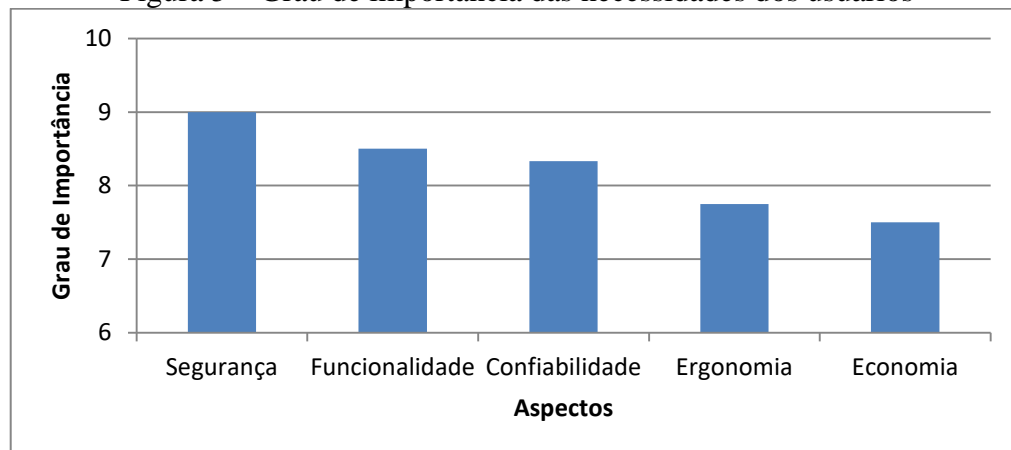
Especificações Meta
Largura: 3000 mm Altura: 1200 mm
Folgas entre sistema e doca 25 a 50 mm
Velocidade com carga máxima 50 mm/s
Carga máxima 7500 kg (empilhadeira com carga máxima)
Plataforma em chapa de aço xadrez
Uso de "avanço" plataforma para doca para facilitar o uso de paleteira.
Fixação no piso com parafusos
Os periféricos como quadro de controle, e reservatório de óleo devem ficar no lado esquerdo.

Fonte: o autor (2020)

O sistema de nivelamento em questão deve ser uma máquina robusta, capaz de oferecer condições seguras para operação e que não apresente falhas que coloque em risco a integridade do operador. As condições de segurança não estão associadas apenas a funcionalidade da máquina, durante o processo de fabricação, montagem, manutenção e operação existem expectativas das pessoas envolvidas. A atividade de mapear as expectativas é chamada de identificação das necessidades dos usuários. O mapeamento completo das necessidades dos usuários para o projeto de sistema de nivelamento pode ser observado com detalhes junto ao Apêndice A.

Durante a reunião com as pessoas envolvidas, foi possível identificar as expectativas dos usuários sob os aspectos de segurança, ergonomia, confiabilidade, funcionalidade e economia. Com as expectativas mapeadas foi realizada uma votação, a fim de identificar sob qual aspecto o projeto deve dar uma maior atenção. À Figura 5 informa o grau de importância das necessidades dos usuários, sob os aspectos analisados. Com a maior pontuação aparecem os requisitos associados à segurança e na sequência os requisitos associados à funcionalidade.

Figura 5 – Grau de importância das necessidades dos usuários



Fonte: o autor (2020)

Como última análise durante o projeto informacional foi elaborada a matriz QFD, com a presença das pessoas envolvidas. Uma matriz onde são relacionados os requisitos dos clientes com os requisitos de projeto. Também é necessário realizar uma análise entre os requisitos de projeto, a fim de identificar se existe correlação entre eles.

Os requisitos de projeto apresentados no Quadro 6 foram os quatro com maior pontuação nas interrelações feitas com a matriz QFD e, portanto, foram utilizados para guiar o projeto estrutural.

Quadro 6 – Resultados da matriz QFD

Resultados da Matriz QFD						
Requisitos	Pontuação	Segurança	Funcionalidade	Confiabilidade	Ergonomia	Economia
Evitar geometrias complexa.	250		X			X
Simular as condições de trabalho.	233	X	X	X		
Usar componentes normalizados.	222			X		X
Boa capacidade de carga tanto para elevar como abaixar.	200	X	X	X		

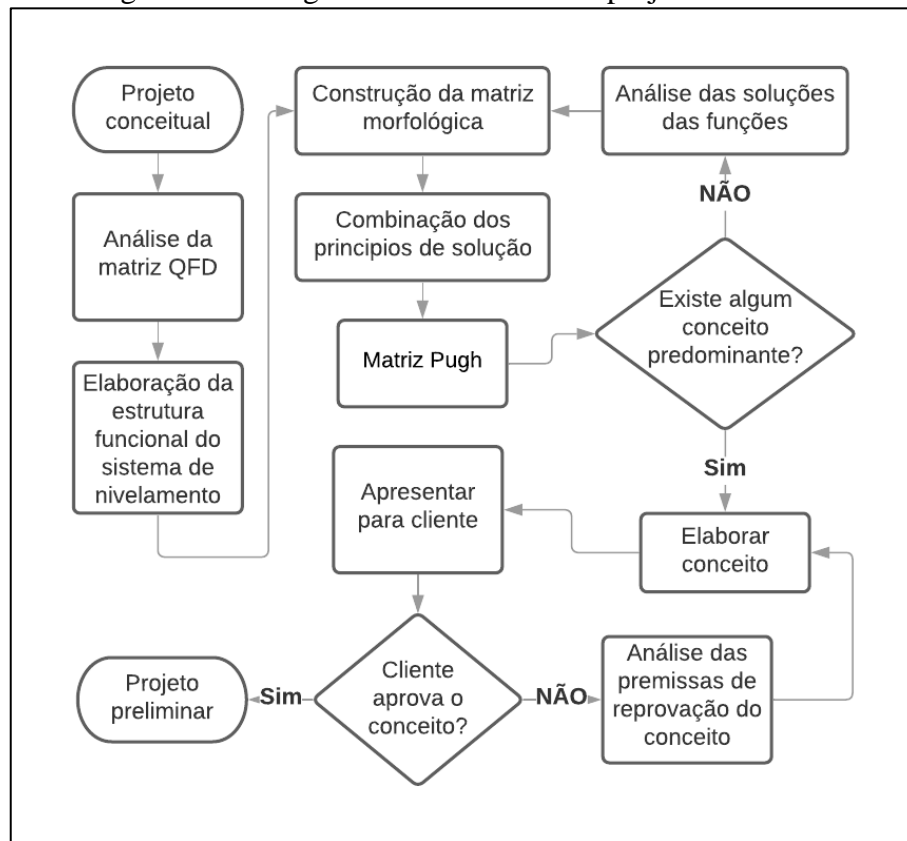
Fonte: o autor (2020)

3.2 PROJETO CONCEITUAL

Com a finalização do projeto informacional inicia-se o projeto conceitual. Este tem como objetivo mapear as funções que o sistema deve possuir e identificar possíveis soluções

para realizar as funções. O projeto conceitual foi dividido em etapas conforme fluxograma na Figura 6.

Figura 6 - Fluxograma de atividades do projeto conceitual



Fonte: o autor (2020)

O sistema proposto foi dividido em três subsistemas, sendo estrutura, plataforma e quadro de comando. A estrutura é o subsistema que é fixado junto ao plano de apoio e condiciona os demais subsistemas, além de receber os carregamentos internos e externos. A plataforma é uma parte do sistema que é responsável pelo carregamento externo, e onde são aplicadas as cargas externas e também realizar as movimentações necessárias. O quadro de comando é responsável pelo gerenciamento das movimentações, contempla a interface com usuário, recebe os comandos e aciona os mecanismos de elevação.

Ao finalizar a matriz morfológica, foram mapeadas quais soluções deveriam ser aplicadas no sistema de nivelamento. O mesmo é apresentado com detalhes junto ao apêndice B. Para definir quais deveriam ser as soluções usadas no sistema de nivelamento, foi utilizada uma matriz *Pugh* e agrupadas as soluções em dois grupos, chamadas de solução 1 e solução 2. As premissas utilizadas na matriz *Pugh* foram às necessidades dos usuários relacionadas com as soluções 1 e 2. Quando os conceitos não apresentavam diferenças significativas para o

requisito, era adicionado o símbolo de igual. Quando a solução apresentava uma vantagem adicionava-se o símbolo de adição, quando as soluções divergiam adicionava-se o símbolo de subtração.

O Quadro 6 ilustra o resultado da matriz *Pugh*, o projeto do sistema de nivelamento deve ter como solução para as respectivas funções da solução 1.

Quadro 6 – Soluções a serem usadas nos conceitos

Permanecer fixa na posição de utilização	 Parafuso Parabolt
Suportar as forças internas e externas	 Perfil
Acondicionar carga	 Mesa
Energizar sistema	 Botão
Receber comando para movimentar	 Quadro com botões
Acionar mecanismos de movimentação	 Cilindro hidráulico
Movimentar	 Mecanismo 4 barras

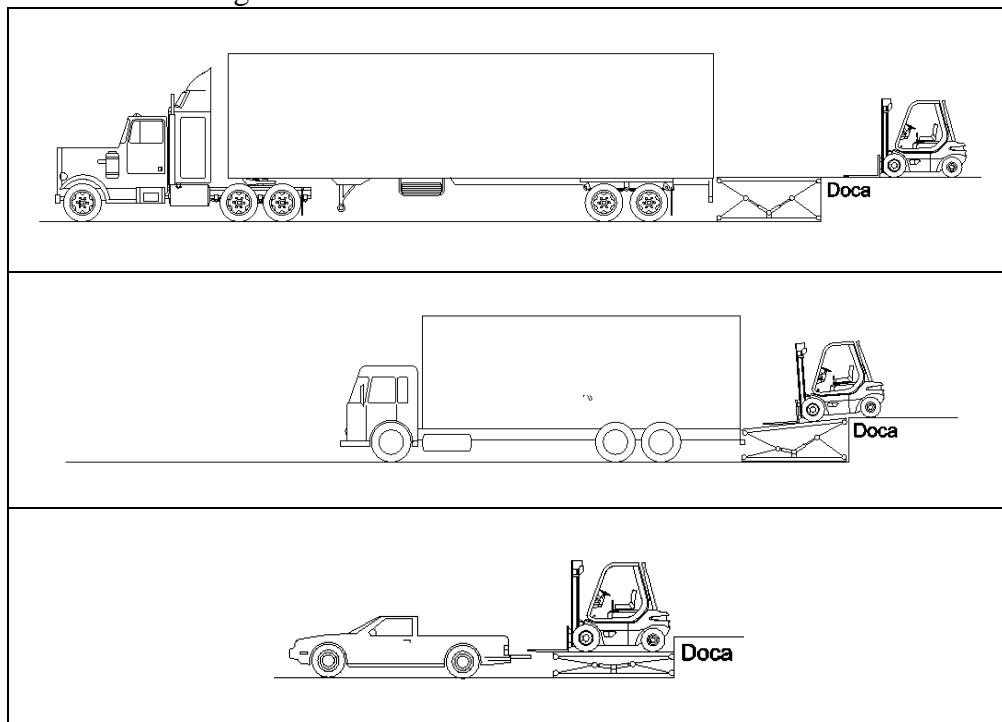
Fonte: o autor (2020)

Definidas as soluções dos subsistemas foram desenvolvidos três conceitos. O primeiro conceito foi baseado em nivelar a carga (mercadoria) até o veículo. O mesmo foi descartado antes de mostrar para o cliente, em função da diversidade de embalagens e alturas de veículos.

O segundo conceito baseava-se em nivelar o veículo até a doca, e foi apresentado para o cliente. Entretanto, o conceito não foi aprovado pelo cliente. Sob o aspecto do tamanho do sistema o cliente considerou que as dimensões requeridas poderiam torná-lo economicamente inviável. Sob o aspecto de nivelamento, para veículo em que a diferença entre doca e compartimento de carga é pequena, pode-se usar uma rampa, que permita o acesso ao compartimento de carga e com um custo operacional inferior ao sistema apresentado.

O terceiro conceito foi elaborado baseado nas premissas do cliente: custo de operação e pequena diferença de alguns compartimentos de carga em relação à doca. O sistema possui a flexibilidade de inclinar, formando uma rampa até o compartimento de carga para os veículos que possuem pouca diferença entre a altura do compartimento de carga e doca. E pode contar com a função de movimentação vertical para atender os maiores desníveis. A Figura 7 ilustra o conceito apresentado ao cliente, o mesmo nivela uma empilhadeira ou uma paleteira até o compartimento de carga do veículo.

Figura 7 – Conceito do sistema de nivelamento



Fonte: o autor (2020)

O cliente aprovou o conceito apresentado e realizou alguns apontamentos em relação ao sistema de nivelamento. A solução apresentada não está disponível no mercado. O mercado dispõe de rampas hidráulicas e elevador de cargas.

O conceito aprovado pelo cliente apresenta uma solução única, sendo uma rampa ou um elevador. A flexibilidade do conceito trás um diferencial para o mercado, além de atender os requisitos de cliente. O centro logístico não precisa ter uma doca exclusiva para veículos com compartimentos de carga cuja altura é inferior a doca. Em função das possibilidades de nivelamento, o sistema pode nivelar o processo de carregamento e descarregamento de veículos de grande e pequeno porte.

3.3 REQUISITOS PARA O DIMENSIONAMENTO

Os coeficientes de segurança para o projeto do sistema de nivelamento são divididos em três. O coeficiente de ponderação global, o coeficiente de segurança específico para flambagem e o critério de deflexão máxima para as vigas da plataforma superior.

O Quadro 7 informa os respectivos valores de coeficientes de ponderação para cada ação que a estrutura está submetida (NBR 8800, 2008). As ações permanentes estão associadas à forma construtiva da estrutura, as ações variáveis estão associadas à utilização da estrutura ou do sistema, por último uma avaliação que combina as ações permanentes com as ações variáveis.

Após a definição dos coeficientes de ponderação deve-se proceder com o cálculo do coeficiente γ_f , que é o produto dos coeficientes citados anteriormente cujo valor é 2,25. O valor γ_f é o coeficiente global do sistema de nivelamento.

Quadro 7 – Identificação dos coeficientes de ponderação

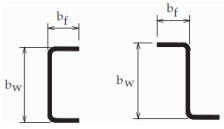
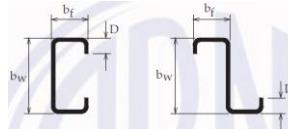
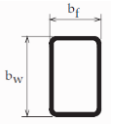
Combinações	Ações permanentes	
Normal	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos.	1,5
Combinações	Ações variáveis	
Normal	Demais ações variáveis incluindo as decorrentes do uso e ocupação.	1,5
Fator de Combinação	Ação	
Carga e seus efeitos dinâmicos	Vigas de rolamento de pontes rolantes.	1,0

Fonte: Adaptado NBR8800 (2008)

No sistema de nivelamento há componentes mecânicos que estão sujeitos a falhas específicas pela natureza do carregamento. Uma falha que se deve dar atenção é a falha por flambagem. A NBR 14762 (2010) orienta para o uso de coeficientes baseados na seção do

elemento que está recebendo o carregamento. Quadro 8 ilustra como se deve obter o coeficiente de flambagem em função da geometria do componente.

Quadro 8 – Identificação do coeficiente de flambagem

$n = b_f/b_w$	Caso A	Caso B	Caso C
	 Seção U simples Seção Z simples	 Seção U enrijecido Seção Z enrijecida	 Seção tubular retangular
0,1	4,25	-	-
0,2	4,52	6,04	5,67
0,3	4,33	5,73	5,44
0,4	3,71	5,55	5,29
0,5	2,88	5,40	5,16
0,6	2,17	5,26	5,03
0,7	1,67	5,11	4,87
0,8	1,32	4,89	4,66
0,9	1,06	4,56	4,37
1,0	0,88	4,10	4,00

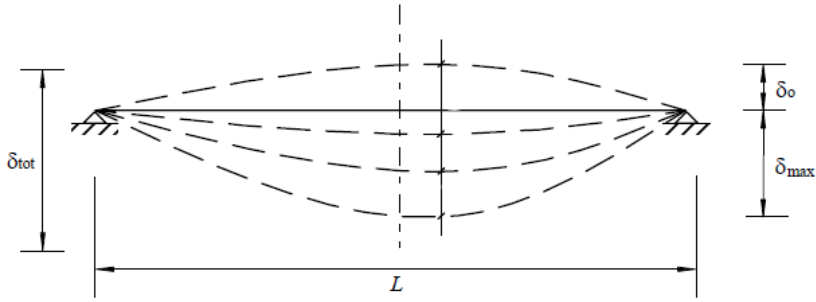
Fonte: Adaptado NBR14762 (2010).

No projeto em questão foram utilizados tubos de seção quadrada. Logo, o coeficiente de segurança para flambagem é igual 4.

O sistema mecânico precisa ter a rigidez adequada aos carregamentos que será submetido. Logo, além dos coeficientes de ponderação e flambagem há um valor máximo permitido de deflexão. A NBR 8800 (2008) orienta para a avaliação de deflexão para vários modelos de vigas com diferentes condições de carregamento. Além dos carregamentos que a estrutura está submetida, deve-se avaliar a distância entre os elementos que sustentam a viga (vão livre). O Quadro 9 ilustra os modelos de carregamentos que a viga pode estar submetida e o modelo matemático que se deve utilizar para identificar a deflexão máxima.

Para o projeto de sistema de nivelamento foram considerados os critérios de vigas de rolamento. O carregamento máximo que o sistema de nivelamento vai estar submetido é de 72,2KN e a distância entre os apoios da viga é de 4 metros. Logo a deflexão máxima permitida para o sistema de nivelamento é de 6,6 milímetros.

Quadro 9 – Identificação da deflexão máxima



Descrição	$\delta_{m\acute{a}x.}$
Vigas de cobertura.	$L/250$
Vigas de piso.	$L/350$
Vigas de rolamento, deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade inferior a 200KN.	$L/600$
Vigas de rolamento, deslocamento vertical para pontes rolantes siderúrgicas com capacidade superior a 200KN.	$L/1000$

Fonte: Adaptado NBR8800 (2008)

3.4 REQUISITOS DE MOVIMENTAÇÃO

O sistema de nivelamento deve permitir o acesso ao compartimento de carga dos veículos comerciais. O Quadro 10 ilustra a variedade de altura existentes do piso até o compartimento de carga dos veículos.

Quadro 10 – Identificação das alturas de compartimento de carga

Veículo	Altura em relação ao piso
Semirreboque (Carreta)	1200 mm
Caminhão até 18 Ton. (Constellation)	1000 mm
Caminhão até 13,2 Ton. (Delivery)	854 mm
Veículo até 3,5 Ton. (Sprinter)	700 mm
Veículo até 0,8 Ton. (Saveiro)	600 mm

Fonte: Autor (2020).

O sistema de nivelamento deve atingir a altura inferior a 600 mm em relação ao piso, pois, quando o veículo é carregado o compartimento de carga sofre uma deflexão em função

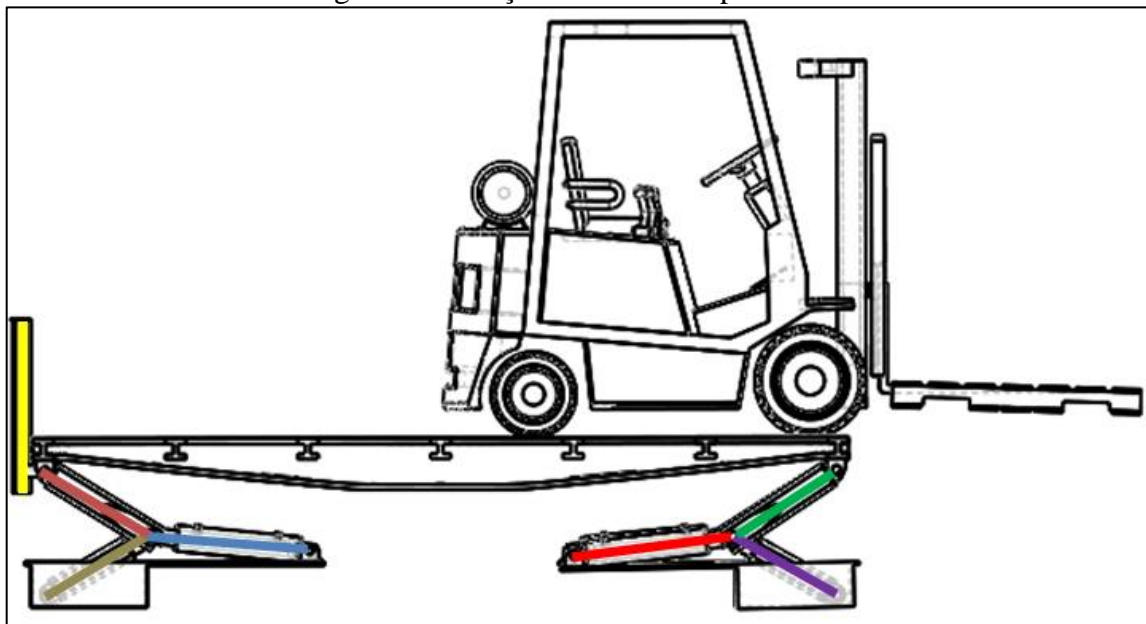
do carregamento. Logo, o sistema de nivelamento deve contemplar a deflexão sofrida pelo veículo quando é carregado, permitindo acessibilidade ao compartimento de carga.

3.5 FORÇAS INTERNAS

As condições de operação para o sistema de nivelamento podem ser diversas. Entretanto existem posições específicas que a empilhadeira carregada pode estar e que resultam nas máximas forças internas que a estrutura está submetida. A fim de identificar a magnitude das forças internas, foram avaliadas diversas posições da empilhadeira em cima da plataforma, para diferentes alturas que o sistema pode estar em função do piso conforme ilustrado no Apêndice C.

A Figura 8 ilustra a posição crítica da empilhadeira, onde se obtém as máximas forças internas. As forças axiais possuem maior magnitude quando o sistema abaixa.

Figura 8 – Posição crítica da empilhadeira



Fonte: Autor (2020).

3.6 SELEÇÃO DE MATERIAL

Os materiais selecionados para o sistema de nivelamento se dividiram em chapas e tubos de aços. O uso de chapas para a viga da plataforma e tubos para as barras de articulação.

O Quadro 11 informa as propriedades mecânicas dos materiais usados e também as tensões admissíveis.

Quadro 11 – Propriedades mecânicas dos materiais

Componente	Material	Tensão de escoamento (MPa)	Coef. Segurança	Tensão Admissível (MPa)
Plataforma	SAE 1020	350	2,25	155,5
Barra Plataforma	ASTM A500	250	2,25	111,1
Barra Piso	ASTM A500	250	2,25	111,1
Pinos	SAE 1045	370	2,25	164,4

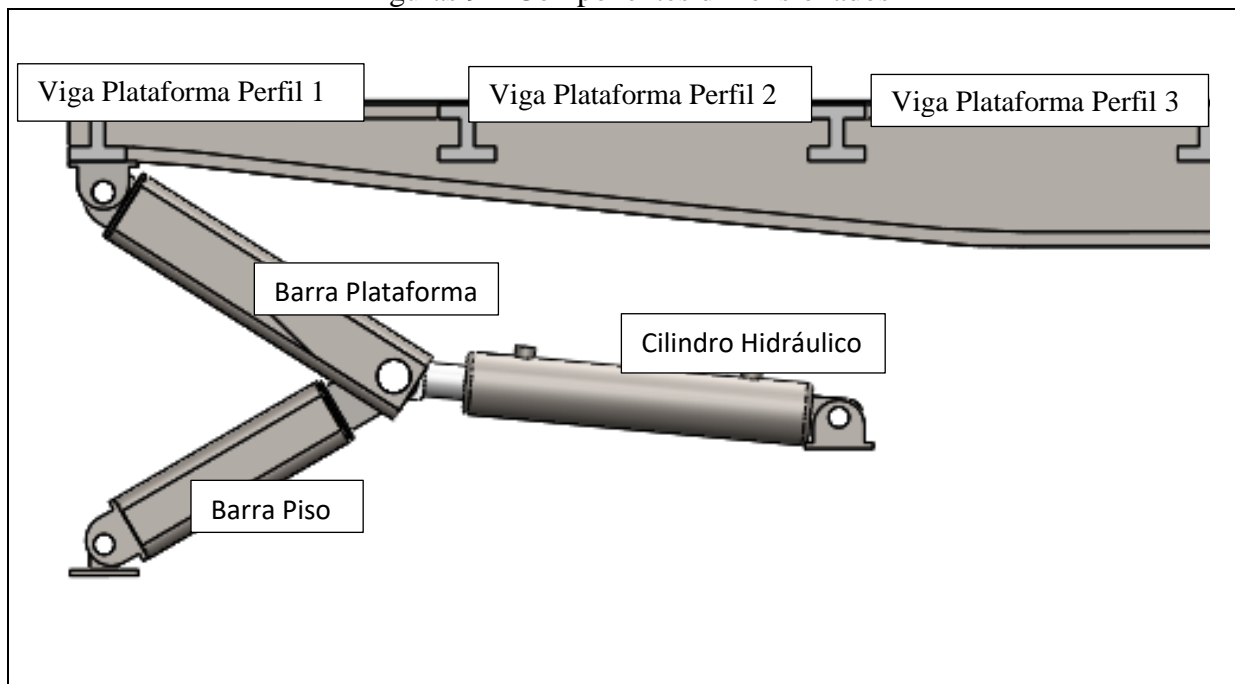
Fonte: Autor (2020).

3.7 GEOMETRIA DOS COMPONENTES

Foi possível atender os requisitos normativos e amplitude de movimentação, com geometrias simples e disponíveis no mercado. A Figura 9 ilustra os componentes dimensionados, e a posição de cada um no sistema de nivelamento.

O Quadro 12 ilustra o dimensional dos componentes estruturais do sistema de nivelamento, mostrando o fator de segurança associado a cada componente. O detalhamento dos cálculos pode ser verificado junto ao Apêndice D.

Figuras 9 – Componentes dimensionados



Fonte: Autor (2020).

Quadro 12 – Dimensional dos componentes

Componente	Geometria	Coef. Segurança Força Axial	Coef. Segurança Momento Fletor	Coef. Segurança Flambagem
Barra Plataforma	130x130x16mm	4,2	-	1,0
Barra Piso	120x120x16mm	5,1	-	1,3
Cilindro Hidráulico	70mm (diâmetro haste)	-	-	1,3
Pinos (todas as articulações)	75,4mm (diâmetro)	-	3,9	-
Viga Plataforma Perfil 1	Perfil 1 100x100x25,4	-	1,2	-
Viga Plataforma Perfil 2	Perfil 2 100x175x25,4	-	2,0	-
Viga Plataforma Perfil 3	Perfil 3 100x250x25,4	-	3,0	-

Fonte: Autor (2020).

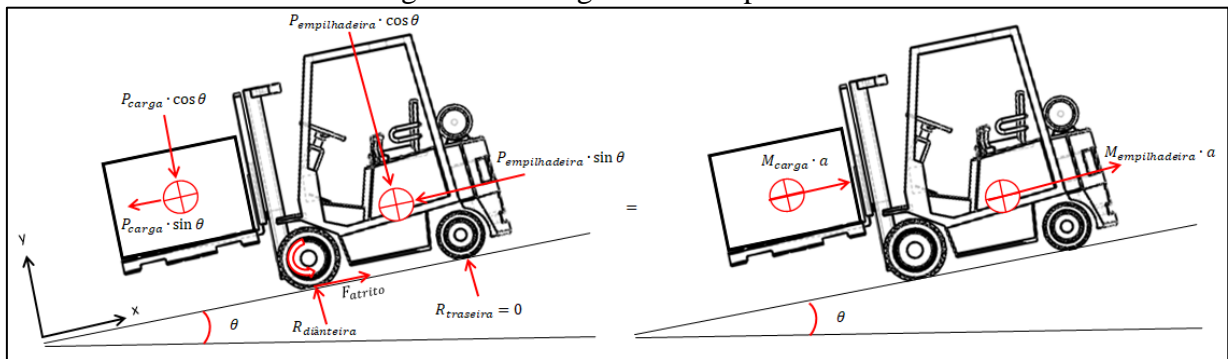
3.8 ASPECTOS DE SEGURANÇA

Para o sistema de nivelamento há situações que podem apresentar risco ao usuário. Ao utilizar o sistema de nivelamento com inclinação máxima pode ocorrer um tombamento frontal da empilhadeira. Caso seja necessária uma frenagem abrupta com a empilhadeira carregada em cima da plataforma, em função da altura da carga transportada na empilhadeira pode ocorrer o tombamento.

Para a hipótese mencionada foi considerada variações crescentes na capacidade de carga em função da elevação da empilhadeira. A Figura 10 ilustra o diagrama de forças e acelerações para avaliar hipótese de tombamento da empilhadeira.

Para definição da força de atrito foi verificado quais coeficientes de atrito proporcionam a maior desaceleração. Os coeficientes de atrito entre pneu e aço variam de 0,6 até 0,9. Com a necessidade de parar a empilhadeira carregada de maneira abrupta o coeficiente de atrito cujo valor é 0,6 proporciona durante a frenagem o arraste do pneu em cima da plataforma. Coeficiente de atrito cujo valor é 0,9 proporciona a parada da máquina de maneira instantânea gerando desacelerações de maior magnitude quando comparado ao coeficiente de atrito com valor 0,6.

Figura 10 – Diagrama de corpo livre



Fonte: Autor (2020).

A Equação 2 foi utilizada para encontrar a reação no eixo dianteiro da empilhadeira.

$$\sum F_y = m \cdot a_y \quad (2)$$

$$R_{Dianteira} = (P_{Carga} + P_{Empilhadeira}) \cdot \cos \theta$$

A Equação 3 foi utilizada para encontrar a máxima aceleração do sistema empilhadeira mais carga.

$$\sum F_x = m \cdot a_x \quad (3)$$

$$-P_{Carga} \cdot \sin \theta - P_{Empilhadeira} \cdot \sin \theta + F_{at} = (M_{Carga} + M_{Empilhadeira}) \cdot a$$

A Equação 4 foi usada para encontrar qual a altura de elevação apresenta condição favorável ao tombamento da empilhadeira. Foram analisadas condições para a plataforma paralela ao piso, com inclinação intermediária e com inclinação máxima.

$$\sum M_{E_Dianteiro} = \sum M_{O_{ef}} \quad (4)$$

$$P_{Empilhadeira} \cdot (\sin \theta \cdot \overline{y_{Emp.}} - \cos \theta \cdot \overline{x_{Emp.}}) + P_{Carga} \cdot (+ \sin \theta \cdot \overline{y_{carga}} + \cos \theta \cdot \overline{x_{carga}}) + a \cdot (m_{Emp.} \cdot \overline{y_{Emp.}} + m_{Carga} \cdot \overline{y_{Carga}}) > 0$$

Para valores cujo somatório de momentos resultarem em valores maiores que zero, existe a probabilidade de tombamento da empilhadeira. Logo, devem ser informadas quais as condições seguras de trabalho do sistema de nivelamento.

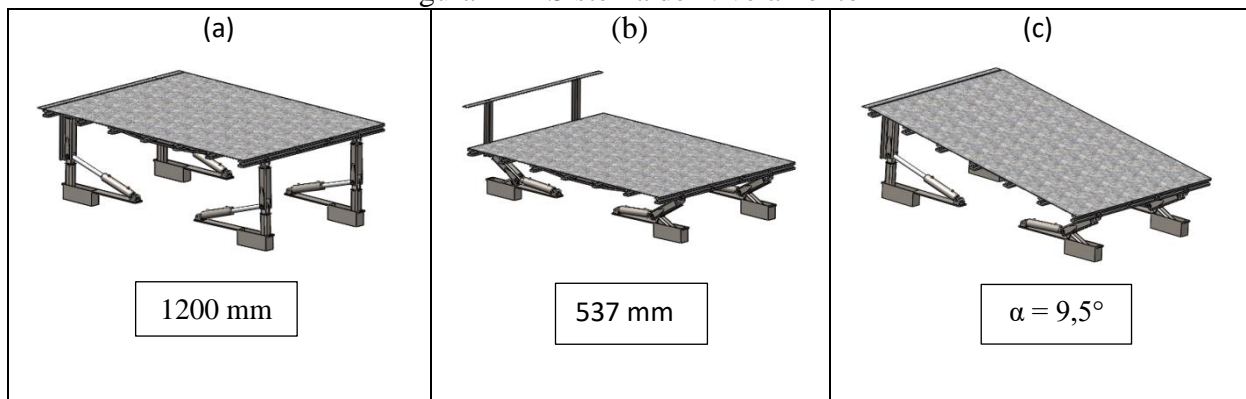
4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados encontrados para o dimensionamento do sistema de nivelamento.

4.1 SISTEMA DE NIVELAMENTO

A Figura 11 (a) ilustra o modelamento do sistema de nivelamento na condição de elevação máxima, a Figura 11 (b) ilustra o sistema todo abaixado a Figura 11 (c) exibe a condição em que um dos lados do sistema foi baixado e outro está com elevação máxima,

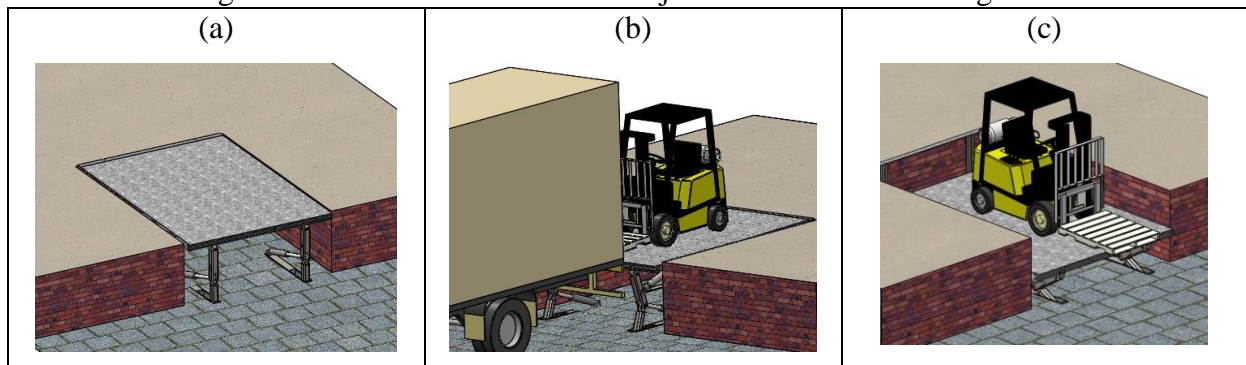
Figura 11 – Sistema de Nivelamento



Fonte: Autor (2020).

A Figura 12 (a) ilustra o sistema de nivelamento inserido em uma doca de centro logístico, a Figura 12 (b) ilustra o carregamento em um veículo de médio porte e a Figura 12 (c) ilustra a posição inferior do sistema de nivelamento permitindo o acesso aos compartimentos de carga que são próximos ao piso.

Figura 12 – Sistema de nivelamento junto à doca de centro logístico



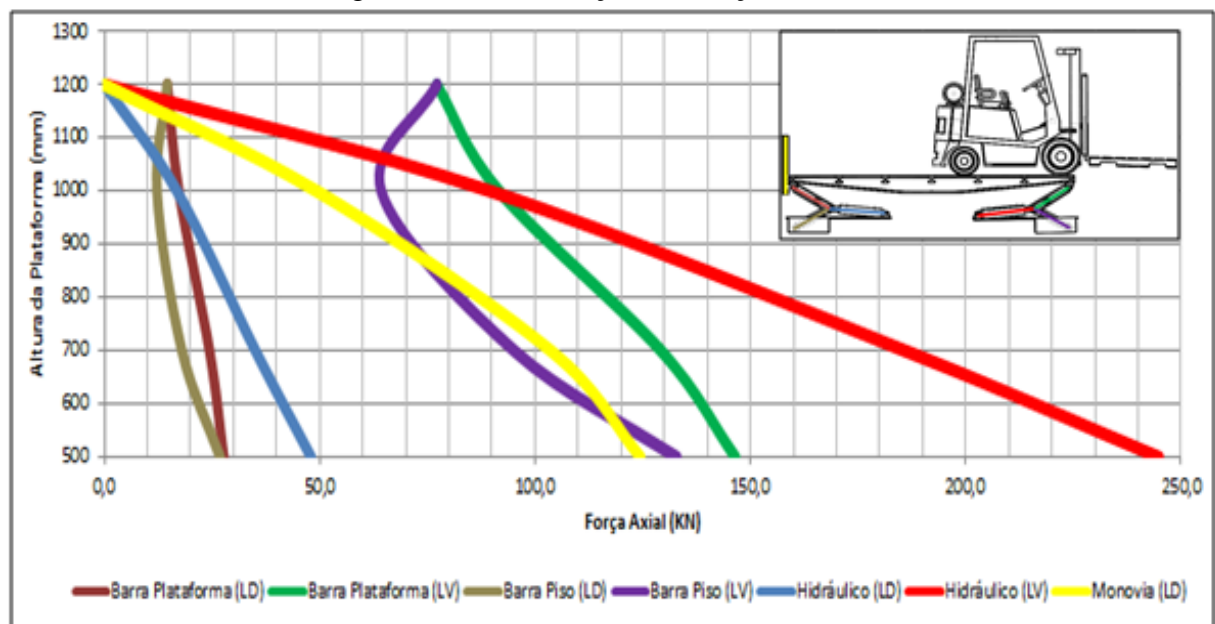
Fonte: Autor (2020).

Foi possível desenvolver um sistema de nivelamento que oferece acessibilidade para os compartimentos de carga dos veículos com capacidade de carga até 0,8 t, e mantendo as condições favoráveis para semirreboques.

4.2 EQUALIZAÇÃO DAS FORÇAS INTERNAS

Equalizar as forças internas para que permitisse o uso de geometrias adequadas ao sistema de nivelamento se tornou complexo. Na Figura 13 pode-se observar a distribuição de forças axiais em todo o sistema quando o mesmo abaixa. Os valores máximos de força axial são atingidos quando a plataforma atinge a altura de 500 mm. A sigla LD refere-se a parte da estrutura que está posicionada próxima a doca, a sigla LV refere-se a parte da estrutura que está posicionada próximo ao compartimento de carga do veículo.

Figura 13 – Distribuição das forças internas



Fonte: Autor (2020).

As forças utilizadas para definir as geometrias das barras que compõem o sistema de nivelamento são apresentadas no Quadro 13. A viga da plataforma tem um comprimento de 4 metros, as tensões de cisalhamento e momento fletor são diferentes ao longo do comprimento da viga. Logo, foi possível desenvolver uma viga seção transversal variável, atendendo as tensões admissíveis e a deflexão máxima.

Quadro 13 – Força axial máxima

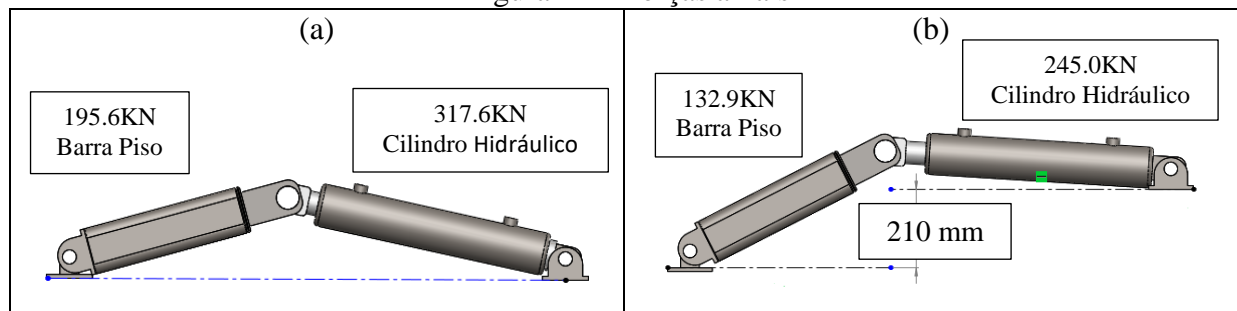
Componente	Força axial máxima (KN)
Barra Plataforma	146,5
Barra Piso	132,9
Cilindro Hidráulico	245,0

Fonte: Autor (2020).

Para poder atingir as especificações meta foi necessário que parte do sistema de nivelamento fique abaixo do solo.

A Figura 14 (a) ilustra a força axial existente na barra piso e cilindro hidráulico quando o sistema é baixado por completo, a imagem mencionada possui todo o sistema nivelado com solo. A Figura 14 (b) ilustra a força axial na barra piso e cilindro hidráulico quando o sistema é baixado por completo, nessa imagem a barra piso foi deslocada para 210 mm abaixo do piso. Pode-se perceber que ao mudar a posição da barra piso obteve-se uma redução significativa dos valores de força axial.

Figura 14 – Forças axiais



Fonte: Autor (2020).

O posicionamento abaixo do piso permitiu além de reduzir as forças internas favoreceu para aumentar a amplitude de nivelamento.

4.3 VIGA PLATAFORMA

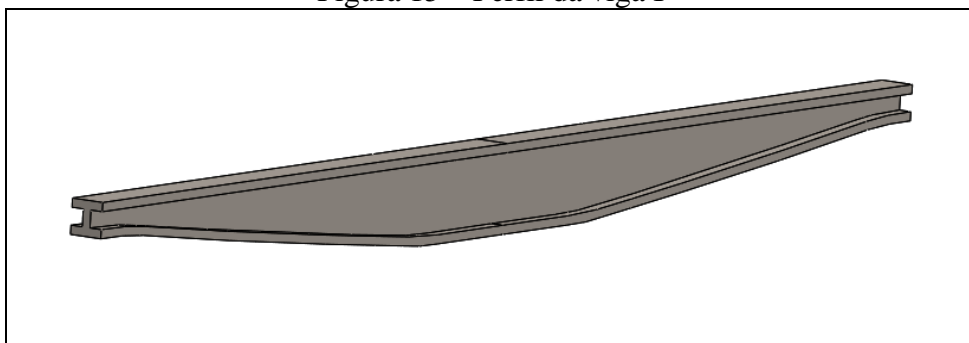
Para atender o requisito de deflexão máxima sem que o mesmo gerasse impacto na amplitude de movimentação, foi necessário desenvolver uma viga de seção transversal variável.

No primeiro instante a geometria especificada possuía uma seção transversal de 220x180x12,7 mm e massa de 293,5 kg. Tal geometria atendia o critério de deflexão máxima,

entretanto não era possível atingir em plenitude os requisitos de movimentação. O acesso aos compartimentos de carga próximos ao piso ficava comprometido.

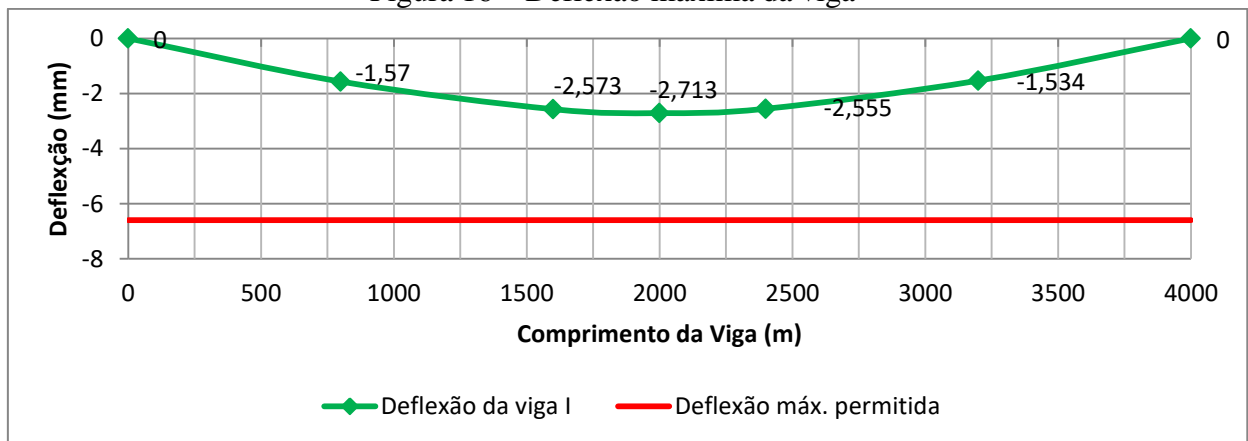
Com o perfil I variável foi possível atender o requisito de deflexão máxima e obter uma viga com massa de 266,2 kg. Além da redução de massa, o perfil I variável possibilita aumentar o momento de inércia exatamente onde é necessário. A Figura 15 ilustra a viga com o perfil variável cujas dimensões são informadas no Quadro 13. A Figura 16 informa a condição de deflexão máxima em que a viga é submetida.

Figura 15 – Perfil da viga I



Fonte: Autor (2020).

Figura 16 – Deflexão máxima da viga



Fonte: Autor (2020).

4.4 ANÁLISE DE SEGURANÇA

Dentre as possibilidades de inclinação do sistema de nivelamento que varia de 0° até $9,5^\circ$, tal amplitude não oferece uma tendência ao tombamento da empilhadeira. O Quadro 14 lista as cargas admissíveis na empilhadeira em função da sua elevação, onde percebe-se que não há alteração na capacidade de carga dentro da faixa de inclinação do sistema de

nivelamento. Ressalta-se que os resultados apresentados provêm de uma análise dinâmica associada a uma frenagem brusca, cujo coeficiente de atrito entre pneu e solo é igual a 0,6.

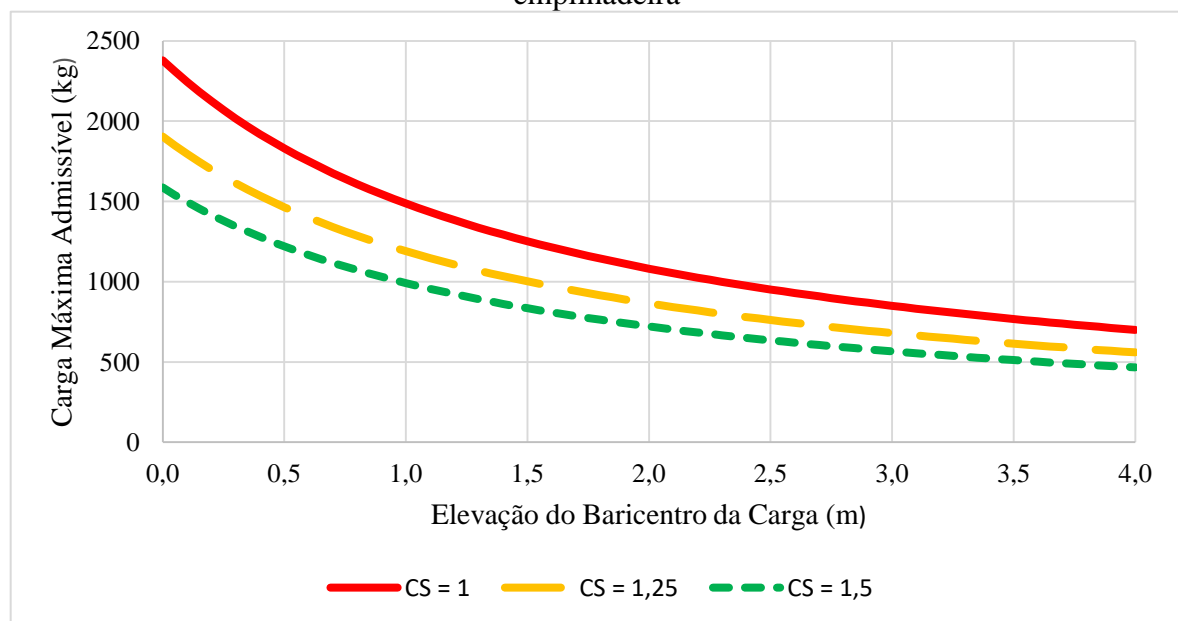
Quadro 14 – Carga admissível na empilhadeira sob desaceleração máxima.

Peso admissível carga P_c (kN)			
Altura de elevação da carga (m)	0°	5°	10°
0,0	2379,5	2379,5	2379,5
1,0	1487,2	1487,2	1487,2
2,0	1081,6	1081,6	1081,6
3,0	849,8	849,8	849,8
4,0	699,8	699,8	699,8

Fonte: Autor (2020).

A constância nos resultados apresentados no Quadro 14 ocorre porque conforme a rampa inclina a força normal dos pneus com o solo diminui logo, a força de atrito também diminui e conseqüentemente a capacidade de desaceleração. Contudo, mesmo o sistema de nivelamento não apresentando uma tendência ao tombamento com uma frenagem brusca, deve-se seguir a orientação de elevação de carga conforme Figura 17.

Figura 17 – Carga admissível em função da elevação em desaceleração máxima da empilhadeira



Fonte: Autor (2020).

A análise foi realizada para a condição mais crítica de utilização do sistema de nivelamento. Logo, uma análise estática para o sistema em questão proporciona capacidade de cargas maiores em função da elevação do baricentro da carga.

5 CONCLUSÕES

Com a finalização deste trabalho pôde-se evidenciar que os objetivos técnicos foram alcançados, resultando em um sistema mecânico capaz de proporcionar condições de nivelamento adequado aos compartimentos de carga dos veículos comerciais.

A definição dos comprimentos das barras e posições específicas de cada elemento demandou tempo. Em função da amplitude de movimentação e inclinação, por muitas vezes atender uma especificação gerava conflito em outra especificação. Contudo, o mecanismo de Scott Russel se mostrou uma escolha adequada para os requisitos do projeto.

Pode-se perceber que as Normas Regulamentadoras fornecem os requisitos técnicos de maior exigência. A literatura por sua vez está alinhada com as respectivas normas. Entretanto as particularidades das máquinas de elevação são encontradas apenas em normas, há uma carência em literatura específica desse tipo de máquina.

Com a finalização do objeto de estudo Sistema de Nivelamento percebe-se que o sistema é funcional e flexível sob o aspecto de proporcionar condições favoráveis ao carregamento e descarregamento. O conceito apresentado se difere das soluções atuais do mercado, por permitir elevar, baixar ou inclinar a plataforma em uma única máquina.

Constatou-se que é possível a construção do sistema de nivelamento em questão, baseados nos cálculos e análises apresentadas. A construção do mesmo pode ser realizada com geometria simples atendendo os requisitos normativos e expectativa do cliente. Existem limitações para utilização do sistema, porém as limitações existentes são em função de proporcionar uma operação segura para os usuários.

Quando comparado aos demais sistemas de nivelamento para docas, o sistema em questão apresenta uma complexidade elevada. Isso ocorre por se tratar de um sistema com dois graus de liberdade e amplitude de movimentação, adequada para os veículos comerciais.

Dessa forma, o mecanismo projetado se torna um diferencial para os pequenos centros logísticos, que não possuem uma boa infraestrutura e a variabilidade de veículos comerciais é grande. Para a continuidade dos assuntos abordados neste trabalho, sugerem-se para trabalhos futuros os seguintes temas:

- a) Dimensionar os demais componentes que não foram tratados no trabalho.
- b) Realizar um estudo para aumentar a amplitude de movimentação.
- c) Avaliar a possibilidade de desenvolver a viga I em treliça.

REFERÊNCIAS

ADASOORIYA, Nirosha D. Fatigue reliability assessment of ageing railway truss bridges: Rationality of probabilistic stress-life approach. **Case Studies in Structural Engineering**, Volume 6, 2016. Available from:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214399816300066> . Access on: 4 May 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8400**: Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, C. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manole, 2008.

BAXTER, Mike. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BORTOLIN, Nelson. **Até 9 horas para descarregar**. Revista Carga Pesada, Londrina, 24 abr. 2015. Disponível em: <https://cargapesada.com.br/2015/04/24/ate-9-horas-para-descarregar-2>. Acesso em: 8 mar. 2020.

BRASIL, Haroldo Vinagre. **Máquinas de levantamento**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Anuário CNT do Transporte chega à terceira edição**. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/anuario-cnt-transporte-chega-a-terceira-edicao>. Acesso em: 14 mar. 2020.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação hidráulica: projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. São Paulo: Érica, 2011.

FUNDACENTRO, MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Nota informativa nº 01 /2020 - Acidentes de trabalho no Brasil em 2018**. Disponível em: [http://www.fundacentro.gov.br/arquivos/projetos/estatistica/boletins/Nota%20informativa%20AT%202018_130220\(2\).pdf](http://www.fundacentro.gov.br/arquivos/projetos/estatistica/boletins/Nota%20informativa%20AT%202018_130220(2).pdf). Acesso em: 12 mar. 2020.

GONZI, Mario; GONZI, Fabricio. **Load lifting device**. United States Patent. Turin, Italy. 2006. Available from: <https://patentimages.storage.googleapis.com/87/46/b5/982b651a997ec6/US7413056.pdf>. Access on: 9 May 2020.

HONGYU, Tian; ZIYI, Zhang. **Design and Simulation Based on Pro/E for a Hydraulic Lift Platform in Scissors Type**. Procedia Engineering. Volume 16, 2011. Available from:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705811026543>. Access on: 10 Apr. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO E TRIBUTAÇÃO. **Real frota circulante no brasil é de 65,8 milhões de veículos, indica estudo**. Disponível em: <https://ibpt.com.br/noticia/2640/REAL-FROTA-CIRCULANTE-NO-BRASIL-E-DE-65-8-MILHOES-DE-VEICULOS-INDICA-ESTUDO>. Acesso em: 17 abr. 2020.

JUVINALL, Robert C; MARSHEK, Kurt M. **Fundamentals of machine componente design**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2017. Available from: https://www.academia.edu/36022797/The_Fundamentals_of_Machine_Component_Design_by_Juvinall_and_Marshek. Access on: 11 Apr. 2020.

KANG, X; YANG, M; WU, Y; NI, B. **Integrating Evaluation Grid Method and Fuzzy Quality Function Deployment to New Product Development**. Mathematical Problems in Engineering. United Kingdom: Hindawi Limited, 2018. Available from: <https://doaj.org/article/9573e28fd3864c32b3d090df945becca?frbrVersion=2> Access on: 12 Apr. 2020.

KHURMI, R.S; GUPTA, J.K. **Theroy of machines**. Schand Co; Edição: 14th Revised edition, 2005.

LEI, Huang; GENFU, Yuan; XUEHUI, Chen. **Simulation Analysis of Certain Hydraulic Lifting Appliance under Different Working Conditions**. Physics Procedia. Volume 25, 2012. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389212007973>. Access on: 12 Apr.2020.

NICKEL, Elton Moura; FERREIRA, Marcelo Gitirana Gomes; FORCELLINI, Fernando Antônio; SANTOS, Célio Teodorico dos; SILVA, Ricardo Antônio Álvares Silva. **Modelo multicritério para referência na fase de Projeto Informacional do Processo de Desenvolvimento de Produtos**. Gestão & Produção. São Carlos, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2010000400006&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 1 abr. 2020.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PAOLESCHI, Bruno; CASTIGLIONI, J.A.M. **Introdução à logística**. São Paulo: Érica, 2017.

PAULA, Jefferson Olegário de; MELLO, Carlos Henrique Pereira. **Seleção de um modelo de referência de PDP para uma empresa de autopeças através de um método de auxílio à decisão por múltiplos critérios**. Prod. São Paulo, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132013000100011&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 11 Maio 2020.

QIN, Y., SHIRINZADEH, B., ZHANG, D., and TIAN, Y. **Design and Kinematics Modeling of a Novel 3-DOF Monolithic Manipulator Featuring Improved Scott-Russell Mechanisms**. ASME. *J. Mech. Des.* October 2013; 135(10): 101004. <https://asmedigitalcollection.asme.org/mechanicaldesign/article->

abstract/135/10/101004/380600/Design-and-Kinematics-Modeling-of-a-Novel-3-DOF?redirectedFrom=fulltext. Access on: 19 Jun 2020.

RASHID, Helmi; ARIFFIN, Mohd Khairol Anuar Mohd; NOH, Mohd Hafiz Mohd; ABDULLAH, Abdul Halim; HAMID, Ahmad Hussein Abdul; JUSOH, Mohammad Azzeim Mat; OTHMAN, Akbar. **Design Review of Scissors Lifts Structure for Commercial Aircraft Ground Support Equipment using Finite Element Analysis**. Procedia Engineering, Volume 41, 2012. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812027701>. Access on: 23. Apr. 2020.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F., A. AMARAL. D.C., TOLEDO, J.C., SILVA, S.L., ALLIPRANDINI, D. H., SCALICE, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

RUDENKO, N. **Máquinas de Elevação e Transporte**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1976.

SANTOS, Luciano V. dos. **Análise de falha por fadiga em eixo de motores para sistemas de arrefecimento**. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-10112008-110146/publico/dissertacao_fadiga_final.pdf. Acesso em: 2 Maio 2020.

SHIGLEY, Joseph Edward; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard Gordon. **Projeto de engenharia mecânica**. 7.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

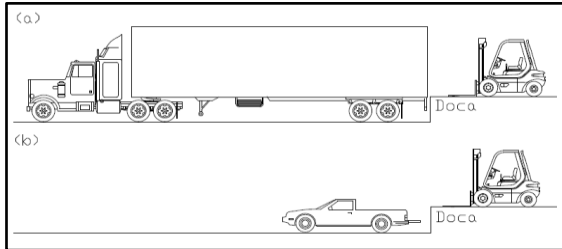
SUN, Yixin; XU, Lizhang; JING, Bo; CHAI, Xiaoyu; LI, Yaoming. **Development of a four-point adjustable lifting crawler chassis and experiments in a combine harvester**. Computers and Electronics in Agriculture. Volume 173, 2020. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169919318915>. Access on: 9 May.2020.

TANG, Chen; HE, Ling; KHAJEPOUR, Amir. **Design and analysis of an integrated suspension tilting mechanism for narrow urban vehicles**. Mechanism and Machine Theory. Volume 120, 2018. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094114X17306158>. Access on: 2 May. 2020.

TURNER, Ian C. **Engineering Applications of pneumatics and hydraulics**. Jordan Hill: Butterworth-Heinemann, 1997.

Apêndice A – Projeto Informativo

Foi realizada uma visita ao cliente com o objetivo de entender o problema, responder o checklist e acompanhar o carregamento ou descarregamento para identificar as questões subjetivas.

Identificação e definição do problema.	
Realizar carregamento e descarregamento em veículos cujo compartimento de carga não está nivelado com a doca.	
 <p>(a)</p> <p>(b)</p>	
Checklist	
Estrutura fixa	1 - Existe algum padrão, norma ou item de segurança da empresa que deve ser seguido?
	R: Norma da empresa e padrão não, mas devem ser seguidas as normas de segurança existentes.
	2 - Existe alguma restrição para dimensões?
	R: Deve ocupar o tamanho da doca já existente.
	3 - Que tipo de superfície existe onde se pretende instalar o sistema?
	R: Piso plano em concreto.
Estrutura móvel	4 - Há alguma restrição para fixação?
	R: Não há restrição, pode ser furado o piso.
	11 - Existe espaço próximo à doca para bomba reservatório de óleo?
	Sim. Mas procurar não colocar nada no lado direito. Há veículos furgão onde geralmente o acesso ao compartimento de carga fica no lado direito.
Sistema de energia	12 - O sistema precisa ser rápido?
	R: Não precisa ser muito rápido, mas também ficar esperando muito tempo não dá.
Sistemas de controle	13 - Possui rede de energia trifásica?
	R: Sim.
	14 - O sistema de controle pode ser em um painel com botões ou controle remoto?
	R: Painel com botões.
	15 - O sistema de controle deve ser inserido próximo à doca?
	Sim, de preferencia no lado esquerdo, deixar o lado direito livre para acesso.

Após visitar o cliente, foi realizado um benchmarking para identificar as soluções que o mercado oferece.

Benchmarking	
Imagem	Aspectos positivos e negativos
	Mesas de elevação em tesoura hidráulicas para serviços pesados, com capacidades de carga que variam de 10.000 a 40.000 lb. Elas estão disponíveis em vários tamanhos de plataforma, de 48 "x 180" a 96 "x 240" com uma altura baixa comum de 15 "para a maioria dos modelos. A tabela de capacidade de 40.000 lb. tem uma altura baixa de 22".
	O elevador de doca de alta capacidade Pentlift HED: Como mostrado abaixo, esse elevador de doca mantém a mesma capacidade operacional de facilitar o manuseio de cargas pesadas. Esses modelos são frequentemente utilizados para elevar e abaixar uma empilhadeira e sua carga. Cilindro hidráulico de derivação PentaFLOW exclusivo (consulte a página anterior) com fusível de velocidade hidráulica. Pernas de tesoura: Construção em peça única em aço sólido com furos fresados com precisão. Todos os pinos de articulação são cromados. Rolamentos isentos de manutenção "lubrificadas para toda a vida" em todos os pontos de articulação.
	Os niveladores de doca hidráulicos de alta capacidade da série HD são projetados e construídos para fornecer valor superior ao produto por meio de desempenho prolongado e sem problemas em aplicações extremamente pesadas em que cargas pesadas estão sendo movidas. A ativação conveniente do botão e a tecnologia hidráulica comprovada aumentam a eficiência e a segurança do processo de carga / descarga. Os niveladores de doca hidráulicos de alta capacidade da série HD oferecem desempenho superior em aplicações de carga / descarga de alta frequência, carga pesada e ambientes abusivos.
	Niveladores de caminhões normalmente usados em aplicações que envolvem um reboque baixo e uma doca de carregamento significativamente mais alta, na qual os niveladores da doca não abaixam o suficiente para permitir uma transferência segura do produto. O nivelador de caminhão é usado para elevar a traseira do caminhão até uma faixa de trabalho que o nivelador de doca possa acomodar. Os niveladores de caminhão Pentlift estão disponíveis em um projeto de poço ou instalação de superfície (mostrada), capacidade de

	40.000 libras ou 60.000 libras. Os tamanhos das plataformas (capacidade) têm 10 'de largura por 14', 16 'ou 20' de comprimento.
--	---

Depois de realizado o benchmarking foi possível definir especificações meta.

Especificações Meta
Largura: 3000 mm Altura: 1200 mm
Folgas entre sistema e doca 25 a 50 mm
Velocidade com carga máxima 50 mm/s
Carga máxima (conforme produto do cliente)
Plataforma em chapa de aço xadrez
Uso de "avanço" plataforma para doca para facilitar o uso de paleteira.
Fixação no piso com parafusos
Os periféricos como quadro de controle, e reservatório de óleo devem ficar no lado esquerdo.

O sistema de nivelamento deve atender as necessidades dos usuários sob o ponto de vista de fabricação, utilização e manutenção. Para cada usuário as necessidades podem ser diferentes. As necessidades mapeadas foram analisadas sob os aspectos de segurança, ergonomia, confiabilidade, funcionalidade e economia.

Ciclo de vida – Identificação dos usuários				
Fabricação				
Segurança	Ergonomia	Confiabilidade	Funcionalidade	Economia
Possuir condições favoráveis à fabricação e movimentação.	Ter fácil fabricação.	Ter pouca falha de fabricação. Componentes com qualidade.	Realização de teste no final da montagem do equipamento.	Possuir tempo mínimo de fabricação, montagem e entrega.
Utilização (usuário final)				
Segurança	Ergonomia	Confiabilidade	Funcionalidade	Economia
Proteção contra choques elétricos. Botão de emergência. Proporcionar operação segura durante as movimentações.	Quadro de comandos deve proporcionar postura correta para operação.	Ter poucas falhas durante operação.	Ter fácil interface entre homem e máquina. Permitir um range de nivelamento compatível aos veículos de carga.	Baixo custo operacional.
Manutenção (usuário final)				

Segurança	Ergonomia	Confiabilidade	Funcionalidade	Economia
Possuir travas mecânicas que iniba possíveis movimentos durante manutenção.	Ter pouca manutenção. Manutenção deve ser simples.		Ter fácil acesso aos itens que compõem o sistema.	Não possuir valor elevado.

Após a identificação das necessidades dos usuários, as mesmas passaram por um processo de votação. A fim de identificar qual o grau de importância de cada necessidade. O resultado do grau de importância orienta para qual aspecto deve-se dar atenção durante o projeto.

Grau de importância das necessidades dos usuários			
Aspectos	Necessidades	Grau de importância	Média
Segurança	Possuir condições favoráveis à fabricação e movimentação.	8	9
	Proteção contra choques elétricos.	9	
	Botão de emergência.	8	
	Proporcionar operação segura durante as movimentações.	10	
	Possuir travas mecânicas que iniba possíveis movimentos durante manutenção.	10	
Ergonomia	Ter fácil fabricação	7	7,8
	Quadro de comandos deve proporcionar postura correta para operação.	8	
	Ter pouca manutenção.	8	
	Manutenção deve ser simples.	8	
Confiabilidade	Ter poucas falhas de fabricação.	7	8,3
	Componentes com qualidade.	9	
	Ter poucas falhas durante operação.	9	
Funcionalidade	Realização de teste no final da montagem do equipamento.	9	8,5
	Ter fácil interface entre homem e máquina.	7	
	Permitir um range de nivelamento compatível aos veículos de carga.	10	

	Ter fácil acesso aos itens que compõem o sistema.	8	
Economia	Possuir tempo mínimo de fabricação, montagem e entrega.	7	7,5
	Não possuir valor elevado.	8	

A matriz ordenadora de requisitos está relacionando cada necessidade dos usuários sob os aspectos de: geometria, cinemática, mecanismos de elevação, materiais e energia. O objetivo da matriz é mapear de maneira qualitativa as questões para o projeto do sistema de nivelamento.

Matriz ordenadora de requisitos						
Aspectos/necessidades		Geometria	Cinemática	Mec. Elevação	Materiais	Energia
Segurança	Possuir condições favoráveis à fabricação e movimentação.	Compatibilidade com os processos existentes.			Materiais condizentes aos processos.	
	Proteção contra choques elétricos.					Travar todo sistema.
	Proporcionar operação segura durante as movimentações.	Rigidez adequada.	Movimentos lineares sem trancos.			
	Possuir travas mecânicas que iniba possíveis movimentos durante manutenção.	Coluna de sustentação para manutenção (capo de carro).	Trava não deve comprometer a movimentação fora da manutenção.			
Aspectos/necessidades		Geometria	Cinemática	Mec. Elevação	Materiais	Energia
Funcionalidade	Teste funcional no equipamento.		Simular as condições de trabalho.			
	Fácil interface entre homem e máquina.					
	Range de nivelamento compatível aos veículos de carga.	Acessibilidade as diferentes alturas e largura dos veículos.	Possuir sensibilidade durante os movimentos.	Capacidade de carga para elevar como abaixar Grande curso de movimentação.		
	Ter fácil acesso aos itens que compõem o sistema.	Favorecer acesso a componentes que possam ser desmontáveis.				

Aspectos/necessidades		Geometria	Cinemática	Mec. Elevação	Materiais	Energia
Confiabilidade	Ter poucas falhas de fabricação.	Evitar geometrias complexa. Uso de tolerâncias adequadas ao produto				
	Componentes com qualidade.	Usar componentes normalizados	Usar componentes normalizados			
	Ter poucas falhas durante operação.			Adotar indice de confiabilidade		
Aspectos/necessidades		Geometria	Cinemática	Mec. Elevação	Materiais	Energia
Ergonomia	Ter fácil fabricação					
	Quadro de comandos deve proporcionar postura correta para operação.	Altura do quadro de comando de acordo com biotipo média das pessoas	Quadro de comando simples e intuitivo			
	Ter pouca manutenção.					
	Manutenção deve ser simples.					
Aspectos/necessidades		Geometria	Cinemática	Mec. Elevação	Materiais	Energia
Economia	Possuir tempo mínimo de fabricação, montagem e entrega.	Facilidade de montagem, não usar vários itens específicos.				
	Não possuir valor elevado.					

Matriz QFD – Quê x Como

	Importância	Geometria compatível aos processos existentes	Equipamento com rigidez adequada	Coluna de sustentação para manutenção (ex: capo de carro)	Acessibilidade as diferentes alturas e largura dos veículos	Favorecer acesso a componentes que possam ser desmontáveis	Evitar geometrias complexa	Uso de tolerâncias adequadas ao produto e a capacidade dos processos	Usar componentes normalizados	Altura do quadro de comando de acordo com biotipo média das pessoas	Facilidade de montagem, não usar vários itens específicos.	Afastar cabos das partes de movimento	Movimentos lineares sem trancos	Trava não deve comprometer a movimentação fora da manutenção	Simular as condições de trabalho	Possuir suavidade durante os movimentos	Quadro de comando simples e intuitivo	Possuir grande curso de movimentação	Boa capacidade de carga tanto para elevar como abaixar	Adotar indice de confiabilidade	Materiais condizentes aos processos	Elementos elétricos isolados	Travar todo sistema (Botão de Emergência)	
Proporcionar operação segura durante as movimentações.	10	3	9	3	9							3	9	1	9	9	9	9	9	3				
Possuir travas mecânicas que iniba possíveis movimentos durante manutenção.	10			3											9									9
Permitir um range de nivelamento compatível aos veículos de carga.	10		3		9				1				3		3	3		9	9					
Proteção contra choques elétricos.	9											3											9	
Componentes com qualidade.	9	1	3						3				9		3	9			9		9	9		
Ter poucas falhas durante operação.	9											3	9		9	9				9				
Realização de teste no final da montagem do equipamento.	9				3										9			9						
Possuir condições favoráveis à fabricação e movimentação.	8	9		9		9	9	9	9		3													
Botão de emergência.	8																9					1	3	
Quadro de comandos deve proporcionar postura correta para operação.	8									3							9							

Ter pouca manutenção.	8		9						9										9				
Manutenção deve ser simples.	8			3		3	9	9	9		9	3						9					
Ter fácil acesso aos itens que compõem o sistema.	8				1	9						9											
Não possuir valor elevado.	8						9		3														
Ter fácil fabricação	7	9					9	3	3		3											3	
Ter poucas falhas de fabricação	7	1					9	3	3		1							1					
Ter fácil interface entre homem e máquina.	7									1													
Possuir tempo mínimo de fabricação, montagem e entrega.	7										3												
Grau de importância (req. produto).		128	133	100	122	117	250	133	222	22	106	117	167	6	233	167	206	150	200	67	67	106	67
Percentual		4,4%	4,6%	3,5%	4,2%	4,0%	8,7%	4,6%	7,7%	0,8%	3,7%	4,0%	5,8%	0,2%	8,1%	5,8%	7,1%	5,2%	6,9%	2,3%	2,3%	3,7%	2,3%

Com a finalização da matriz ordenadora, foi possível elaborar junto com o time a matriz QFD. O objetivo dessa matriz é identificar as correlações dos requisitos de usuários junto aos requisitos de projeto (requisitos dos usuários x matriz ordenadora).









Apêndice B – Projeto Conceitual

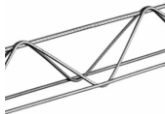
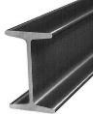

O resultado da matriz QFD orienta o projeto de maneira qualitativa e relaciona as principais necessidades dos usuários. Por exemplo, o requisito de simular as condições de trabalho. Deve-se mapear as condições de trabalho para que não coloque em risco a segurança do operador e que o equipamento não apresente falhas durante a utilização.

Resultados da Matriz QFD						
Requisitos	Pontuação	Segurança	Funcionalidade	Confiabilidade	Ergonomia	Economia
Evitar geometrias complexa.	250		X			X
Simular as condições de trabalho.	233	X	X	X		
Usar componentes normalizados.	222			X		X
Quadro de comando simples e intuitivo.	206	X	X		X	
Boa capacidade de carga tanto para elevar como abaixar.	200	X	X	X		
Movimentos lineares sem trancos.	167	X	X			
Possuir suavidade durante os movimentos.	167	X		X		X
Possuir grande curso de movimentação.	150	X	X		X	
Equipamento com rigidez adequada.	133	X	X			
Uso de tolerâncias adequadas ao produto e a capacidade dos processos.	133			X		X
Geometria compatível aos processos existentes	128					X
Acessibilidade as diferentes alturas e largura dos veículos	122	X	X			
Favorecer acesso a componentes que possam ser desmontáveis.	117	X			X	X
Afastar cabos das partes de movimento.	117	X				
Facilidade de montagem, não usar vários itens específicos.	106	X	X	X	X	X
Elementos elétricos isolados.	106	X				
Coluna de sustentação para manutenção (capo de carro).	100	X			X	
Adotar índice de confiabilidade.	67	X	X	X		
Materiais condizentes aos processos.	67					X
Travar todo sistema (Botão de Emergência).	67	X				
Altura do quadro de comando de acordo com biotipo média das pessoas.	22		X		X	
Trava não deve comprometer a movimentação fora da manutenção.	6	X				




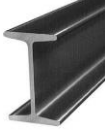











Para elaboração da matriz morfológica, o sistema foi dividido em três subsistemas: estrutura, plataforma e quadro de comando.


Estrutura funcional do sistema de nivelamento			
Sistema de nivelamento	<table border="1"> <tr> <td>Estrutura</td> <td>Permanecer fixa na posição de utilização Suportar as forças internas e externas</td> </tr> </table>	Estrutura	Permanecer fixa na posição de utilização Suportar as forças internas e externas
	Estrutura	Permanecer fixa na posição de utilização Suportar as forças internas e externas	
	<table border="1"> <tr> <td>Plataforma</td> <td>Acondicionar carga Suportar as forças internas e externas</td> </tr> </table>	Plataforma	Acondicionar carga Suportar as forças internas e externas
Plataforma	Acondicionar carga Suportar as forças internas e externas		
<table border="1"> <tr> <td>Quadro de comando</td> <td>Energizar sistema Receber comando para movimentar Acionar mecanismos de movimentação Movimentar</td> </tr> </table>	Quadro de comando	Energizar sistema Receber comando para movimentar Acionar mecanismos de movimentação Movimentar	
Quadro de comando	Energizar sistema Receber comando para movimentar Acionar mecanismos de movimentação Movimentar		

Matriz morfológica				
Sistema de nivelamento	Estrutura	Permanecer fixa na posição de utilização		
		 Parafuso Parabolt	 Cabos de aço	 Fixar junto ao concreto
		Suportar as forças internas e externas		
	 Treliça	 Perfil I	 Perfil C dobrado	
	Plataforma	Acondicionar carga		
		 Palete	 Mesa	
Suportar as forças internas e externas				

		 Treliça	 Perfil I	 Perfil C dobrado
Quadro de comando	Energizar sistema			
	 Botão	 Acionamento com senha		
	Receber comando para movimentar			
	 Controle remoto	 Alavanca	 Quadro com botões	
	Acionar mecanismos de movimentação			
	 Parafusos de potência	 Cilindro hidráulico	 Mola pneumática	
	Movimentar			
	 Mecanismo 4 barras	 Mecanismo pantográfico	 Mecanismo de garra	

Foi realizada uma análise na matriz morfológica e identificado duas possíveis soluções para aplicar no sistema de nivelamento.

Combinções dos princípios de soluções			
	Função	Solução 1	Solução 2
Estrutura	Permanecer fixa na posição de utilização	 Parafuso Parabolt	 Fixar junto ao concreto
	Suportar as forças internas e externas	 Perfil C dobrado	 Perfil I
	Acondicionar carga	 Mesa	 Palete
	Suportar as forças internas e externas	 Perfil C dobrado	 Perfil C dobrado
	Energizar sistema	 Botão	 Acionamento com senha
	Receber comando para movimentar	 Quadro com botões	 Alavanca
	Acionar mecanismos de movimentação	 Cilindro hidráulico	 Parafusos de potência
	Movimentar		

		Mecanismo 4 barras	 <p>Mecanismo pantográfico</p>
--	--	--------------------	---

A matriz Pugh foi elaborada a fim de definir qual princípio de solução deve ser usada no projeto.

Matriz Pugh				
Critério de Comparação (necessidades dos usuários)	Peso	Solução 1	Solução 2	Comentários
Possuir condições favoráveis a fabricação e movimentação	9	=	=	
Proteção contra choques elétricos.	5	=	=	
Botão de emergência.	8	=	=	
Proporcionar operação segura durante as movimentações.	9	=	=	
Possuir travas mecânicas que iniba possíveis movimentos durante manutenção.	4	=	=	
Realização de teste no final da montagem do equipamento	6	=	=	
Ter fácil interface entre homem e máquina.	7	=	+	Poucos botões no S2.
Permitir um range de nivelamento compatível aos veículos de carga.	9	=	=	
Ter fácil acesso aos itens que compõem o sistema.	6	+	=	Poucas peças móveis em S1.
Ter poucas falhas de fabricação.	5	=	=	
Componentes com qualidade.	7	=	=	
Ter poucas falhas durante operação. Ter fácil fabricação	5	=	=	
Quadro de comandos deve proporcionar postura correta para operação.	8	+	-	S1 poucas peças em relação ao S2.

Ter pouca manutenção.	8	=	=	
Manutenção deve ser simples.	6	-	+	Hidráulico suscetível a vazamento de óleo.
Possuir tempo mínimo de fabricação, montagem e entrega.	7	-	=	
Não possuir valor elevado.	7	+	=	S1 poucas peças e menor quantidade de peças móveis
	Positivo	21	13	Positivo
	Negativo	-13	-8	Negativo
	Total	8	5	Total

A partir do resultado da matriz Pugh, foram desenvolvidos três conceitos usando os princípios de solução 1.

Avaliação das concepções e combinação
Nivelar a carga

Em função da variedade de embalagens, tamanho dos produtos e veículos se torna complexo um desenvolvimento de um sistema que seja capaz de absorver tais variações e que realize o carregamento em alturas diferentes. No caso de um elevador apenas para carga, se faz necessário o desenvolvimento de manipuladores específicos para cada embalagem. As imagens abaixo exemplificam as diferentes embalagens.

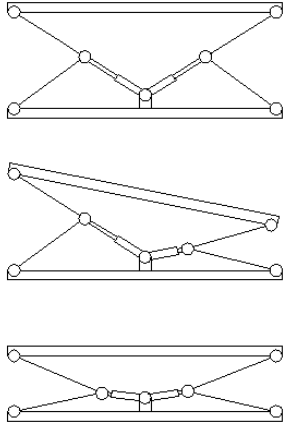

Resultado da matriz QFD

Acessibilidade a alturas diferentes dos veículos	Complexo
Possuir grande curso de movimentação	Complexo

Em função da complexidade, não apresentar como possível solução.



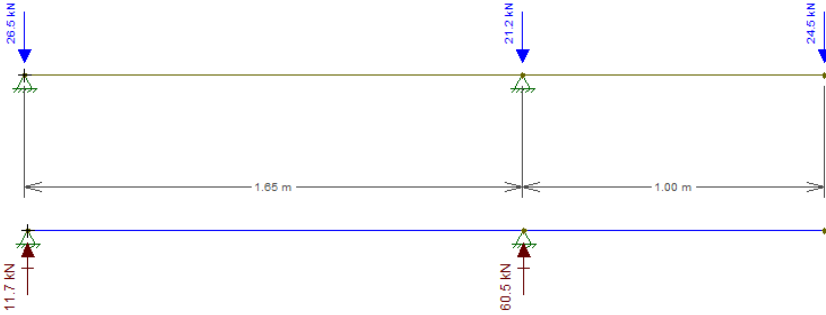
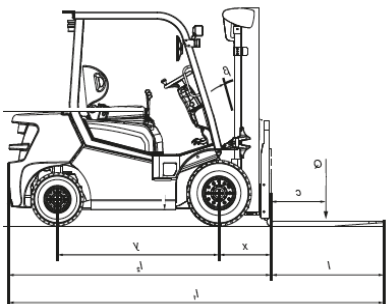
Avaliação das concepções e combinação	
Nivelar o veículo	
Usar um sistema pantográfico para realizar o nivelamento do compartimento de carga com a doca.	
Resultado da matriz QFD	
Boa capacidade de carga tanto para elevar como baixar.	Favorável
Acessibilidade as diferentes alturas dos veículos.	Favorável
Equipamento com rigidez adequada.	Favorável
Possui grande curso de movimentação	Favorável
Apresentar para o cliente como possível solução.	
	
Comentário do cliente.	
<p>Cliente achou uma ideia interessante porem fez algumas considerações: O sistema pode ficar muito grande se pensar em nivelar um caminhão, vai ficar muito caro. Utilizar esse sistema para veículos cujo compartimento de carga apresenta uma grande diferença entre veículo e doca seria ótimo. Porem usar esse sistema para veículos cuja diferença entre doca e compartimento de carga é pequeno torna a operação cara. Investir em um sistema de grande porte para nivelar pequenas variações não faz muito sentido. Para nivelar os carregamentos em veículos pequenos e de médio é uma solução interessante.</p>	

Avaliação das concepções e combinação	
Nivelar o carregamento	
<p>Usar um sistema similar ao pantográfico, que não nivele o compartimento de carga do veículo com a doca mas que nivele o carregamento. O sistema deve elevar e baixar possibilitando acessibilidade para o carregamento em veículos de pequeno e médio porte, e deve inclinar para favorecer o carregamento de veículos cujo compartimento de carga apresenta pouca diferença entre a doca.</p>	
Resultado da matriz QFD	
Boa capacidade de carga tanto para elevar como baixar.	Favorável
Acessibilidade as diferentes alturas dos veículos.	Favorável
Equipamento com rigidez adequada.	Favorável
Possui grande curso de movimentação	Favorável
Apresentar para o cliente como possível solução.	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>	
Comentário do cliente.	
<p>Cliente gostou da ideia e fez algumas considerações: O fato de a mesma plataforma poder elevar e baixar e inclinar é bom. A possibilidade de inclinar favorece o carregamento em veículos em que o desnível é pequeno, e em carroceria tipo baú, o acesso é apenas traseiro a empilhadeira pode acessar sem dificuldade. Para os veículos em que o desnível é maior, a plataforma pode abaixar até o compartimento de carga. Geralmente a quantidade de carga para esses veículos é pequena, tal possibilidade agiliza o processo. Outro aspecto positivo é o tamanho, capacidade para apenas uma empilhadeira, não ocupa muito espaço.</p>	

Apêndice C – Forças Internas

Antes de iniciar a calcular as forças internas, foi medida a massa total da empilhadeira.

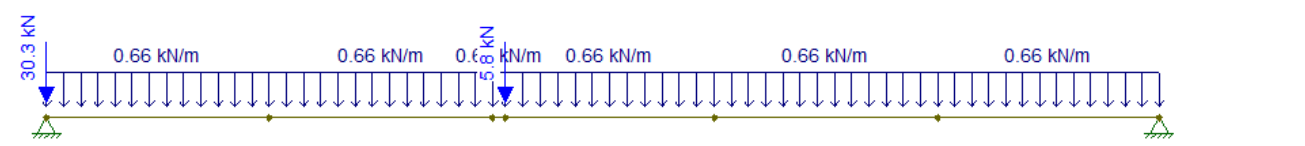
<p>Massa total = 4860kg (47,7KN)</p> 	<p>Eixo dianteiro = 2160kg (21,2KN)</p> 	<p>Eixo traseiro = 2700Kg (26,5KN)</p> 
---	---	--

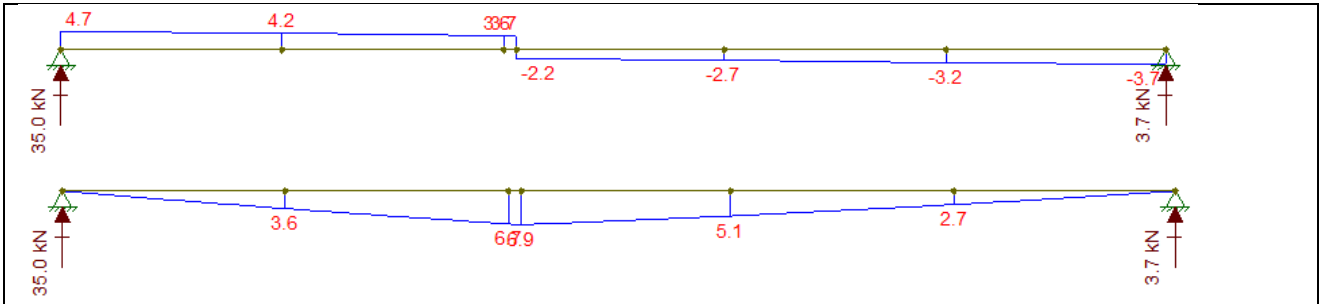
<p>DCL</p>  <p>Eixo dianteiro nominal= 60,5KN Eixo dianteiro cada roda = 30,3KN Eixo traseiro nominal = 11,7KN Eixo traseiro cada roda = 5,85KN</p>	 <p>Comprimento total=3754mm Entre eixos=1650mm Distância $X+C=(500+500)=1000\text{mm}$</p>
--	---

Forças internas da Viga.

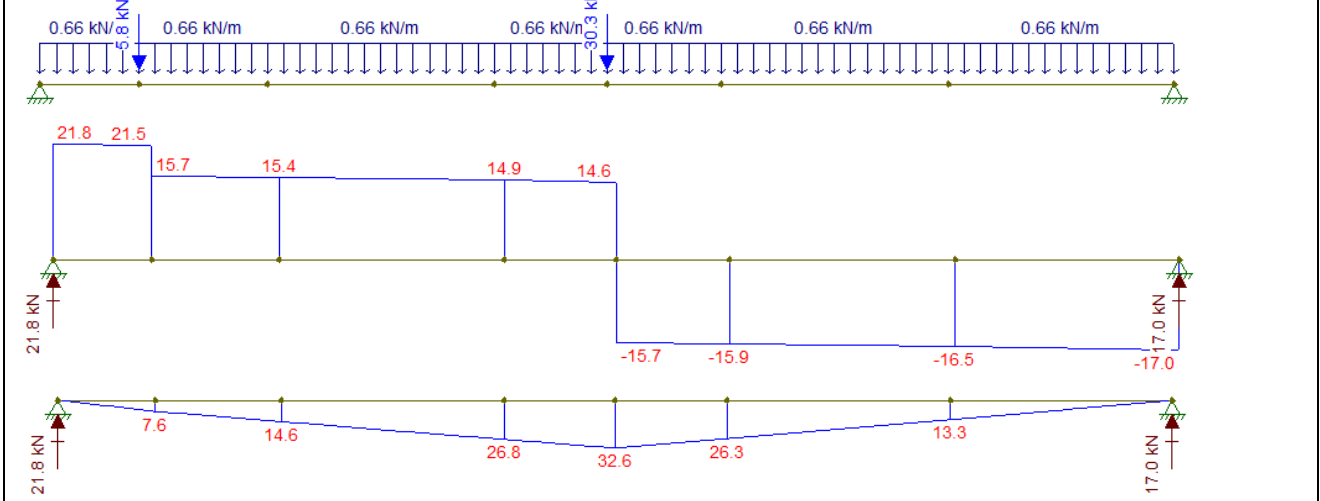
Para identificar quais seriam as forças internas máximas, foram avaliadas diversas posições da empilhadeira com carregamento máximo sob a plataforma alterando a posição da empilhadeira no sistema de nivelamento.

DCL – Empilhadeira no início da plataforma (MH_P1).

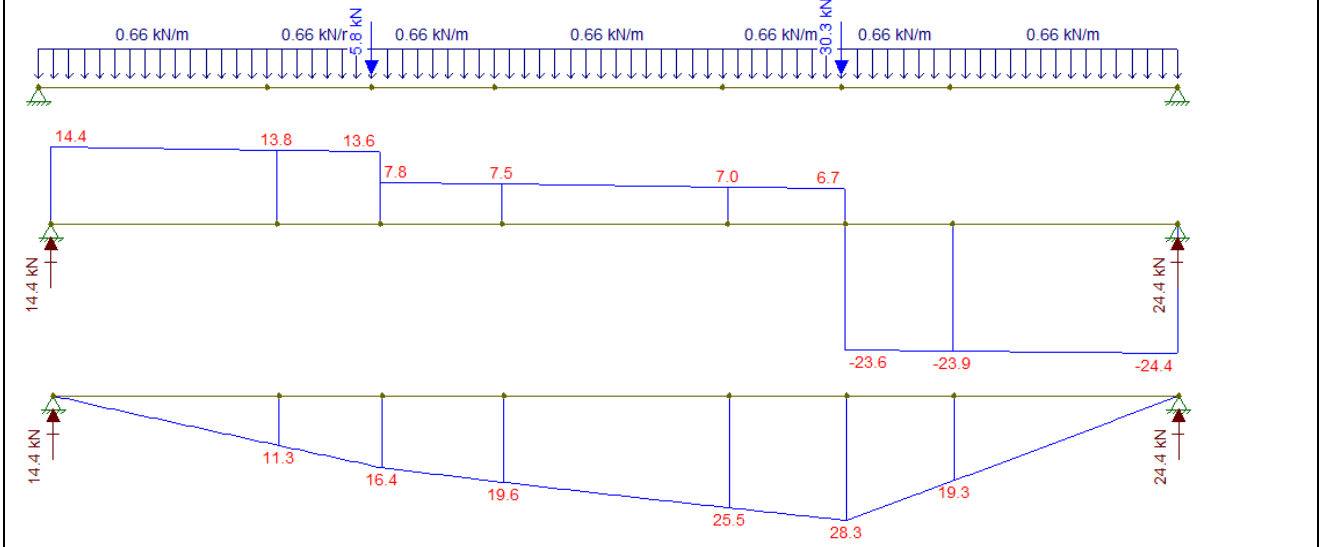




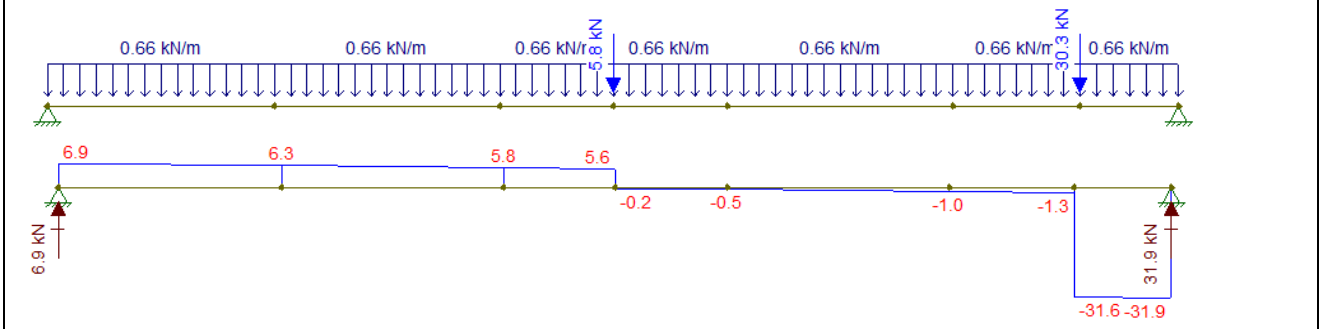
DCL – Empilhadeira com o eixo dianteiro no meio da plataforma (MH_P2).

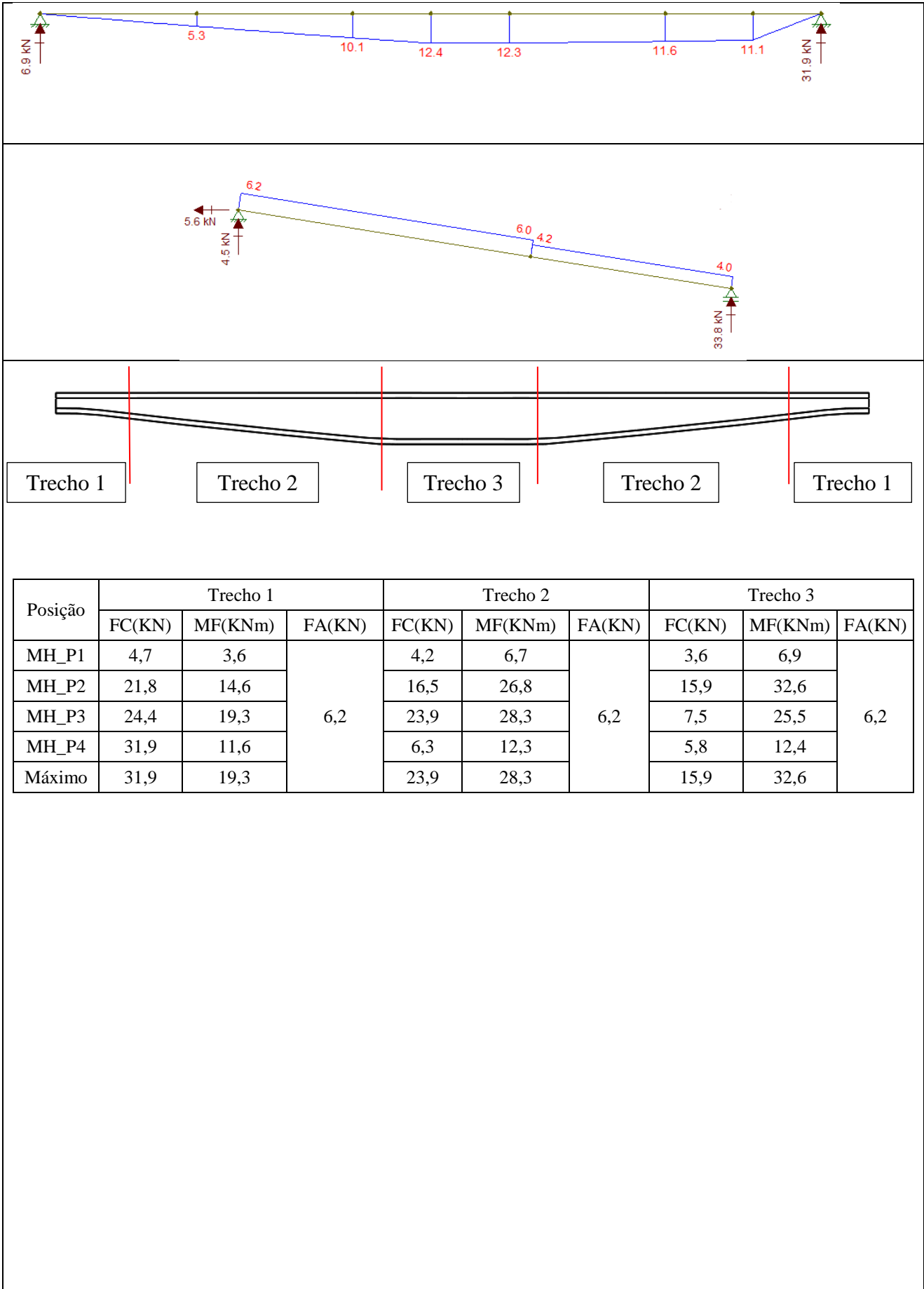


DCL – Empilhadeira no meio da plataforma (MH_P3).

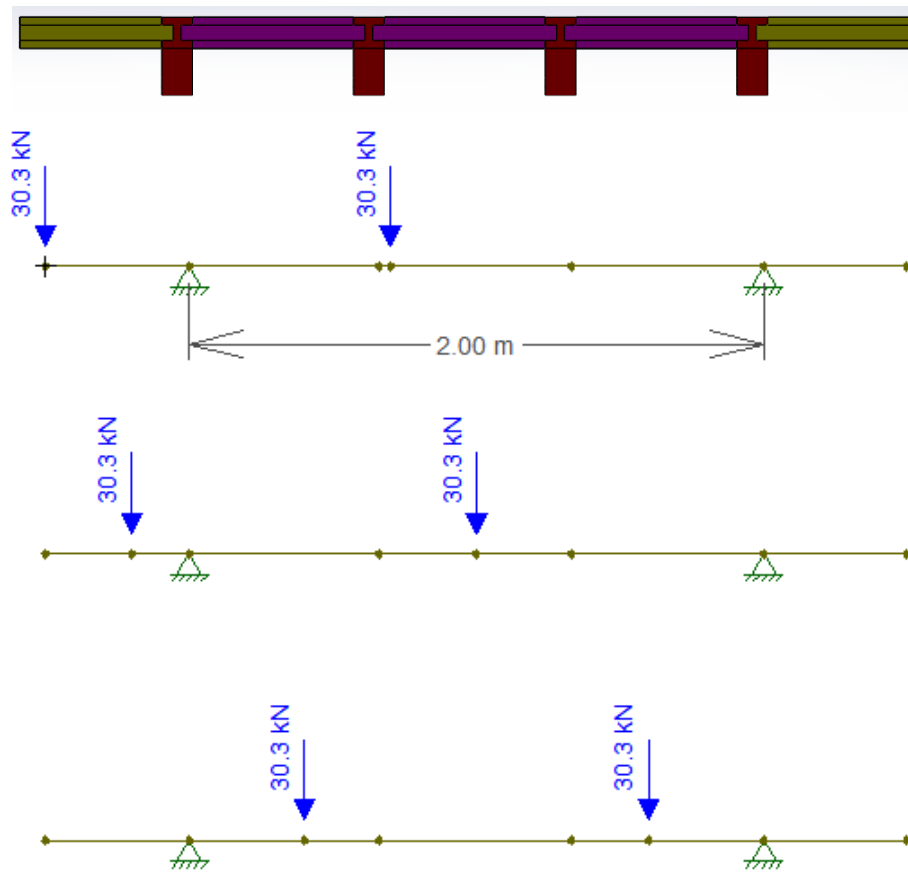


DCL – Empilhadeira próxima ao final da plataforma (MH_P4).

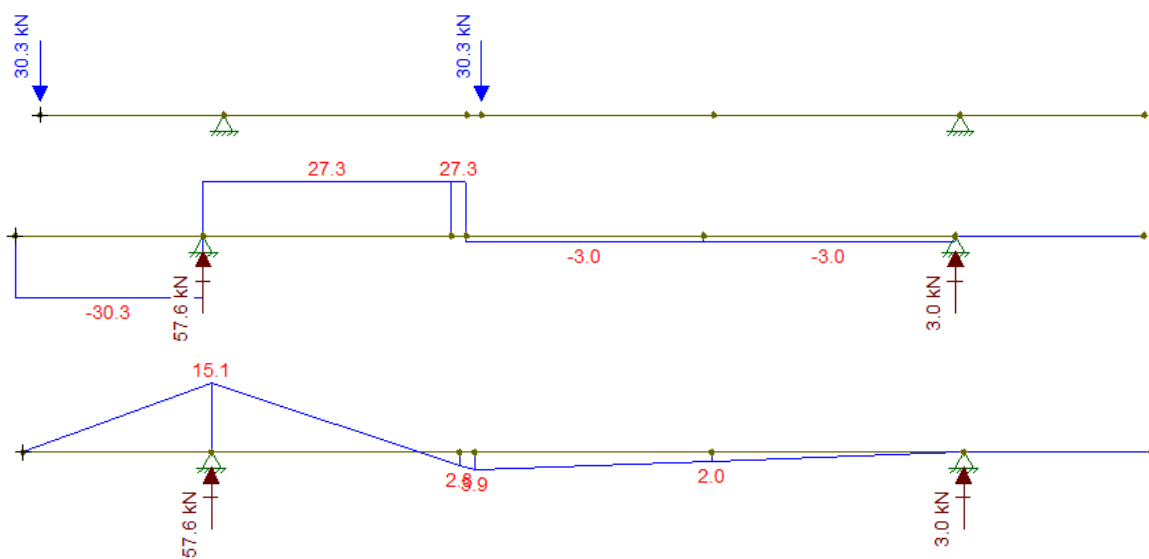




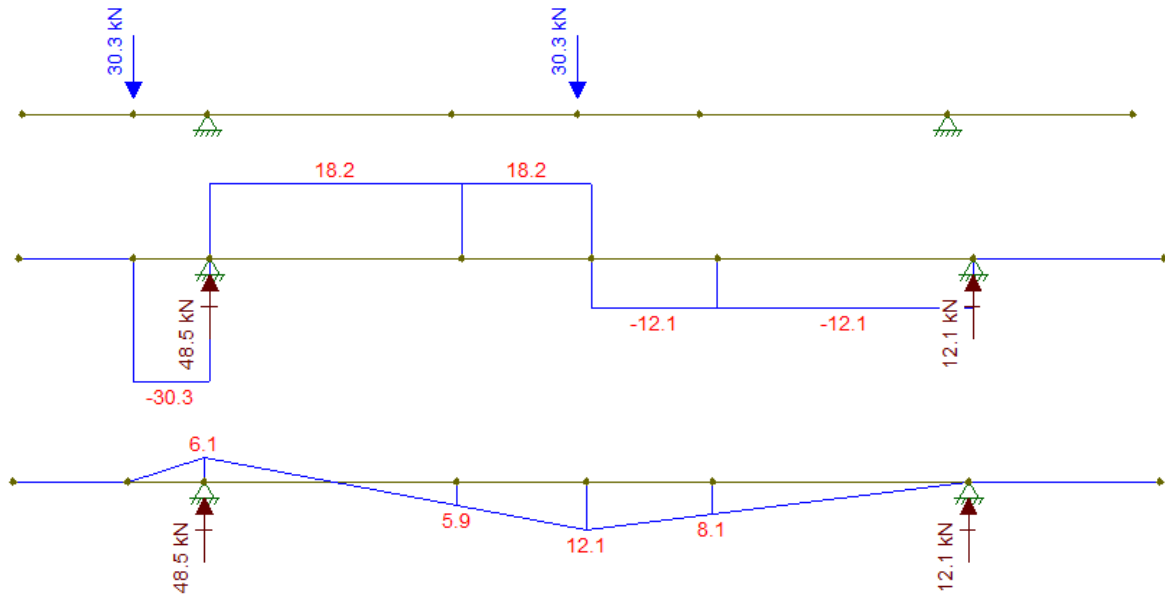
Avaliação da plataforma no sentido transversal. Para identificar quais seriam as forças internas máximas, foram avaliadas diversas posições da empilhadeira com carregamento máximo sob a plataforma alterando a posição da empilhadeira no sistema de nivelamento.



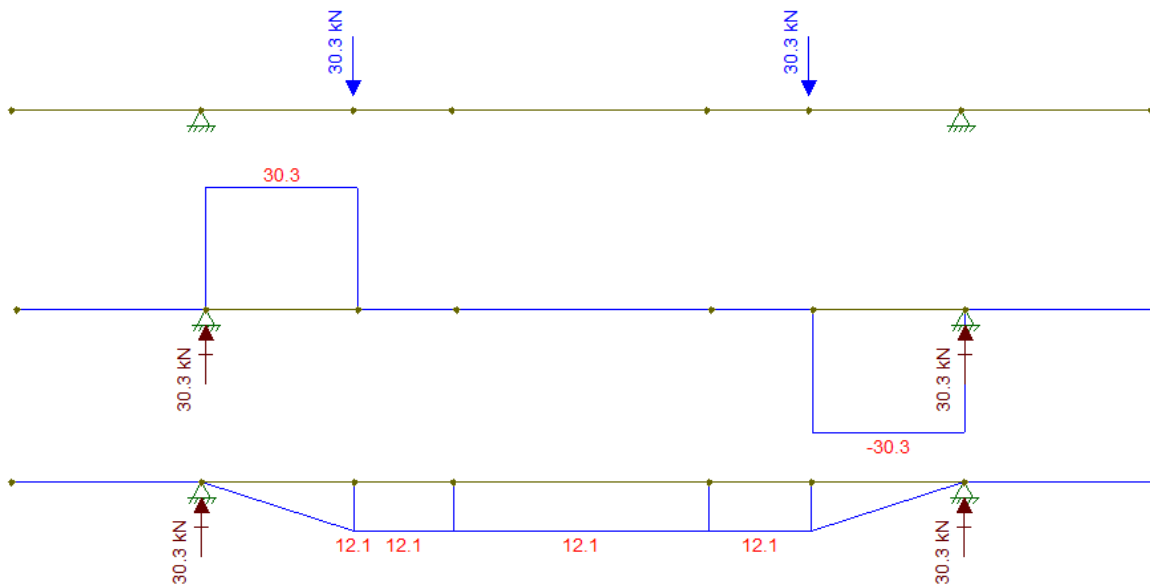
DCL – empilhadeira totalmente em um dos lados da plataforma (PT_1).



DCL – empilhadeira próxima ao centro da plataforma (uma das rodas exatamente no meio da plataforma) (PT_2).



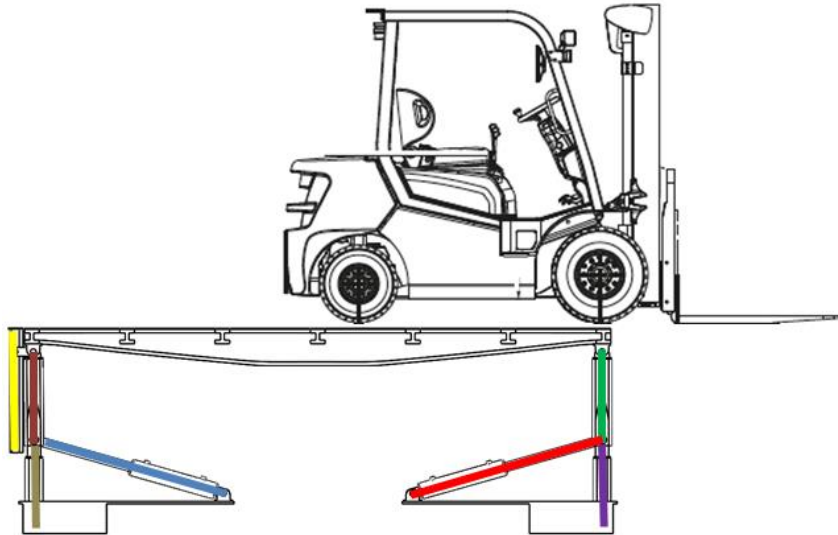
DCL – empilhadeira no centro da plataforma (PT_3).



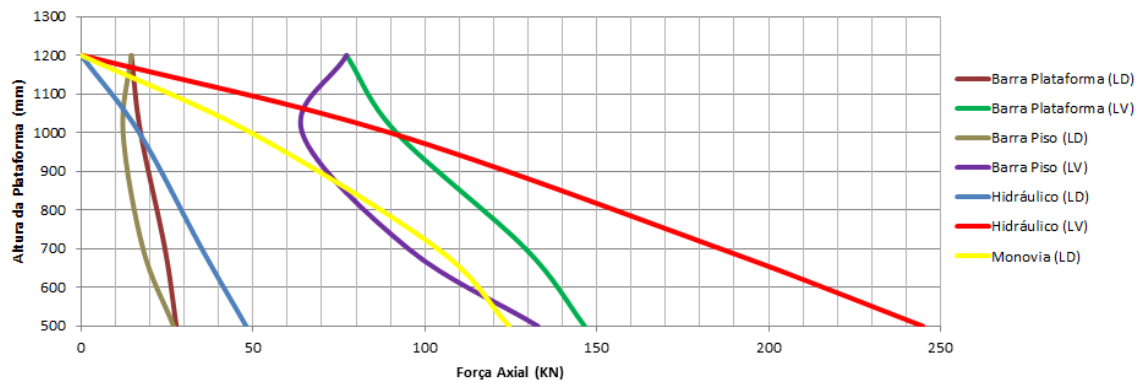
Posição	FC (KN)	MF (KNm)
PT_1	30,3	15,1
PT_2	30,3	12,2
PT_3	30,3	12,1
Máximo	30,3	15,1

Para identificar quais seriam as posições que resultariam nas forças internas máximas, foram avaliadas diversas posições da empilhadeira com carregamento máximo sob a plataforma alterando a altura do sistema de nivelamento.

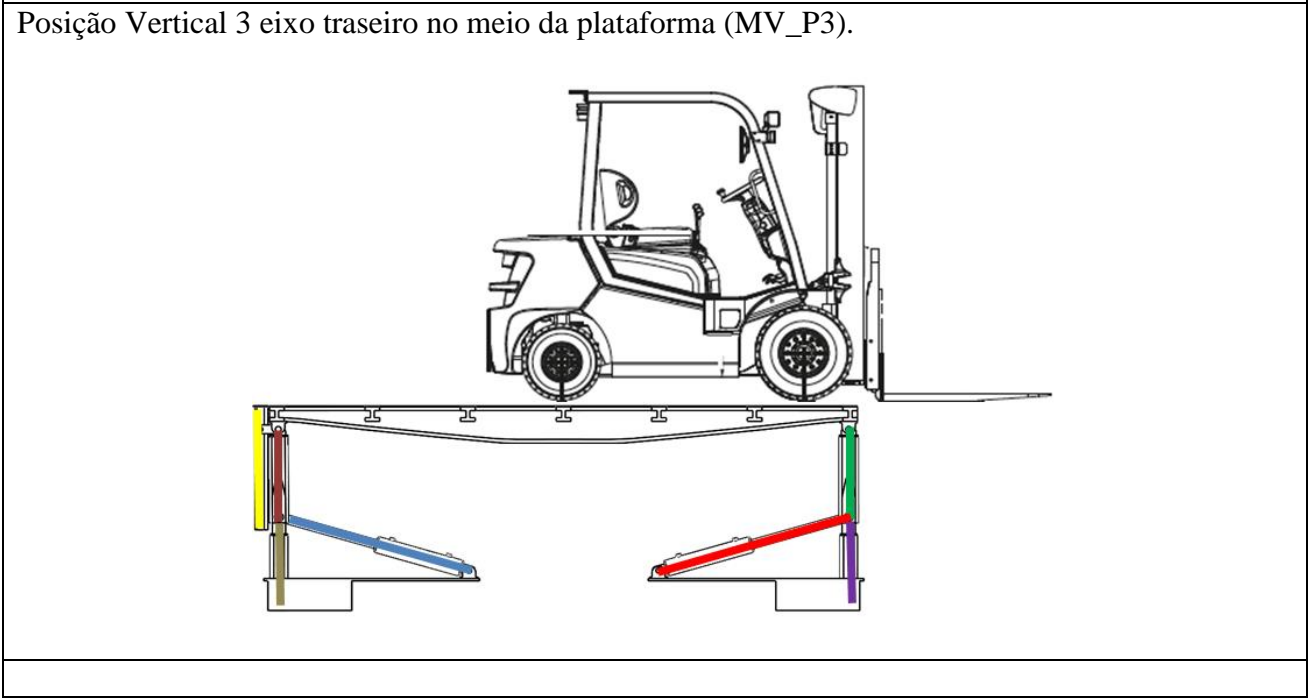
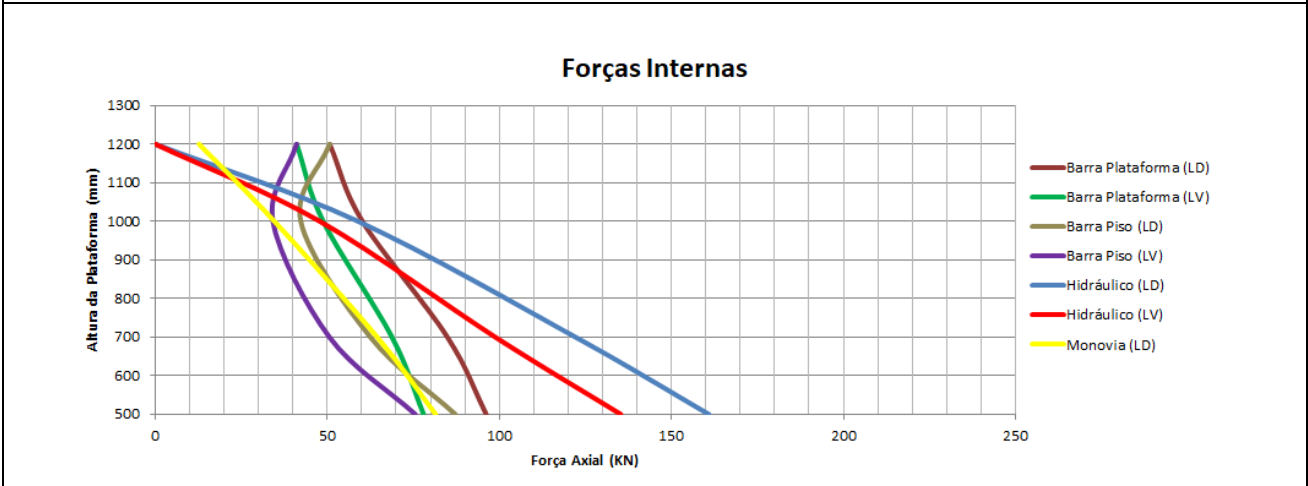
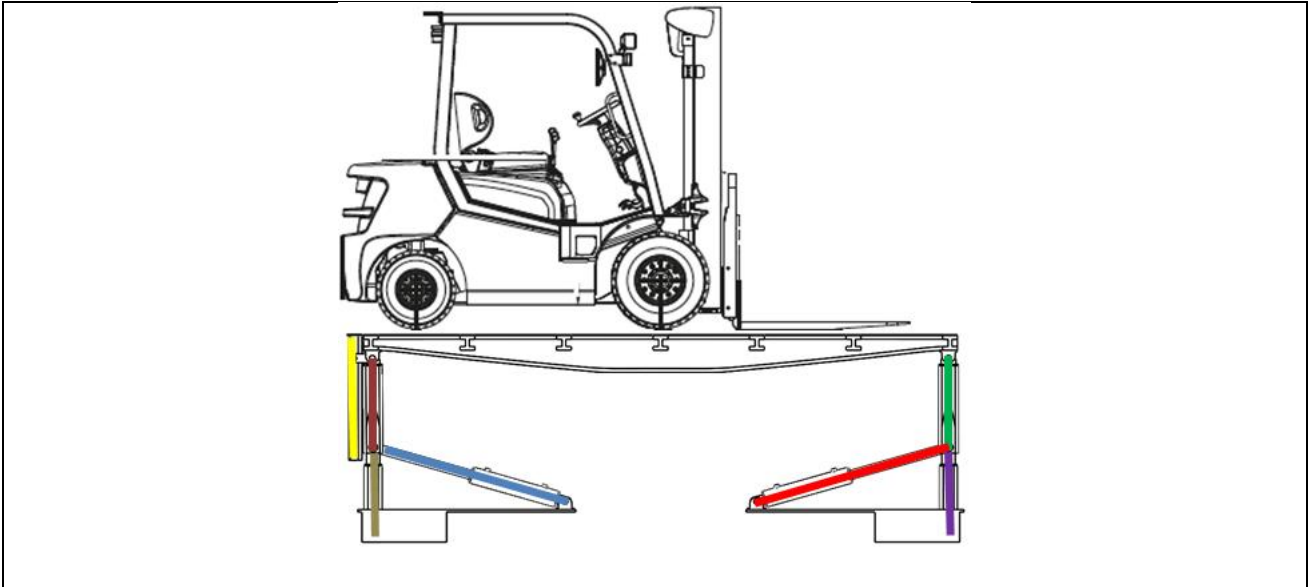
Posição Vertical 1 eixo dianteiro no início da plataforma (MV_P1).

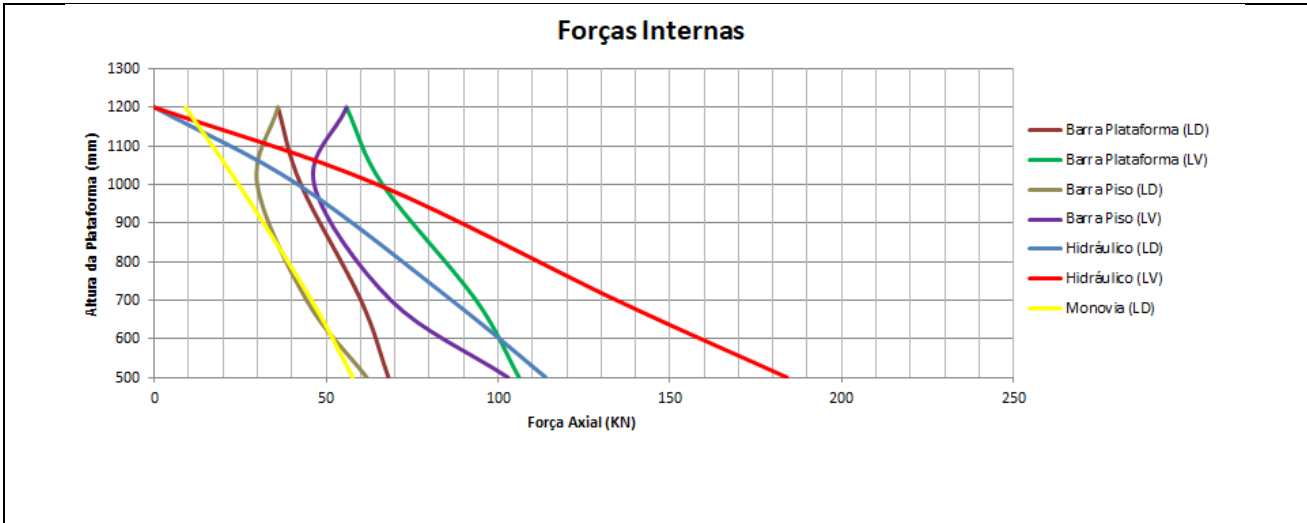


Forças Internas

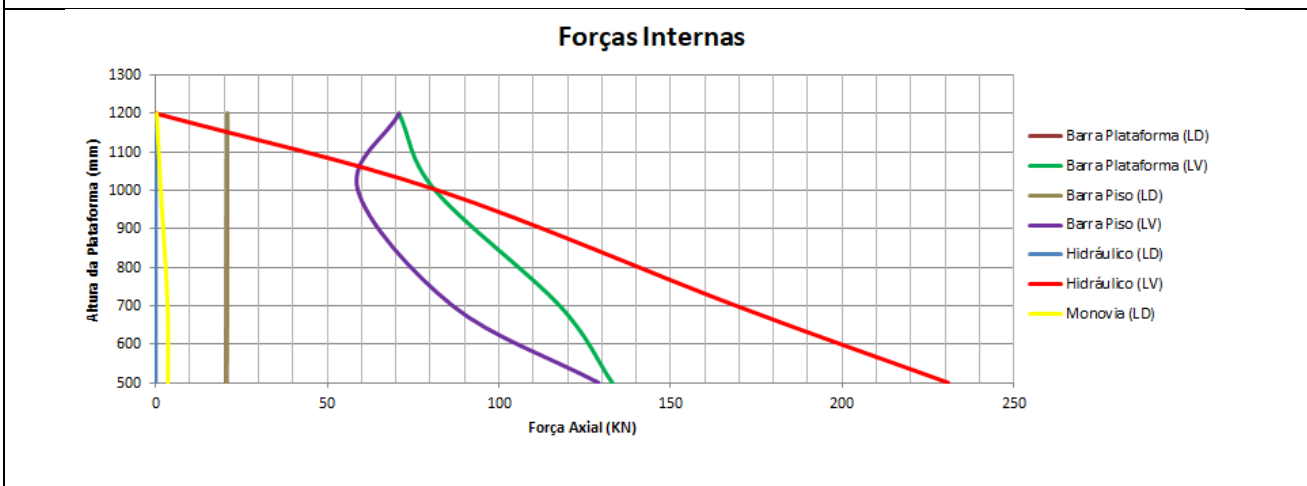
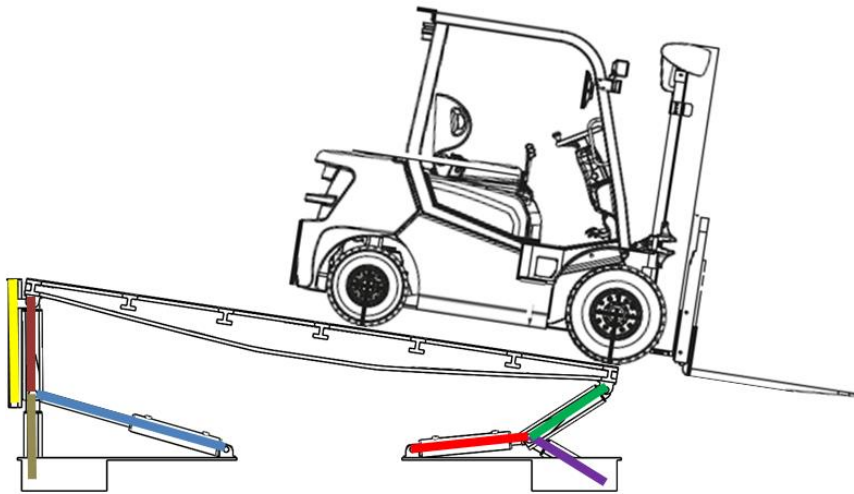


Posição Vertical 2 eixo dianteiro no meio da plataforma (MV_P2).

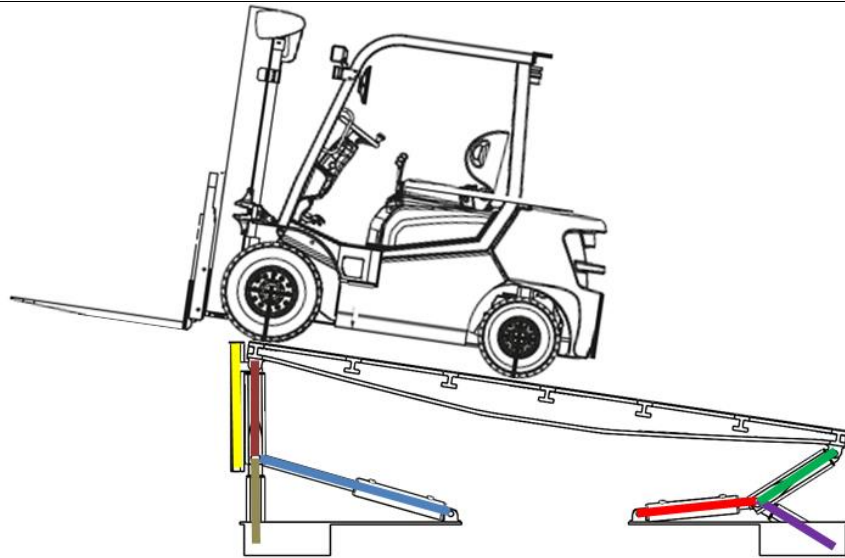




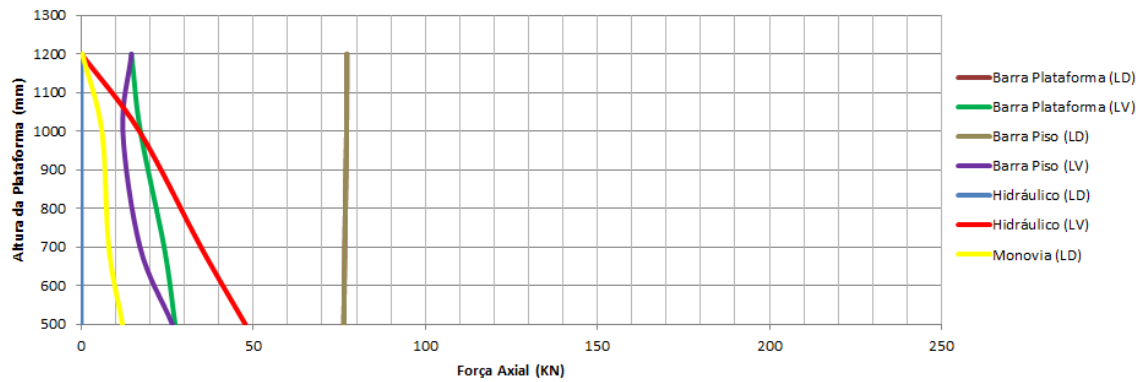
Posição angular 1 eixo dianteiro no início da plataforma (MA_P1).



Posição angular 2 eixo dianteiro no início da plataforma (MA_P2).



Forças Internas



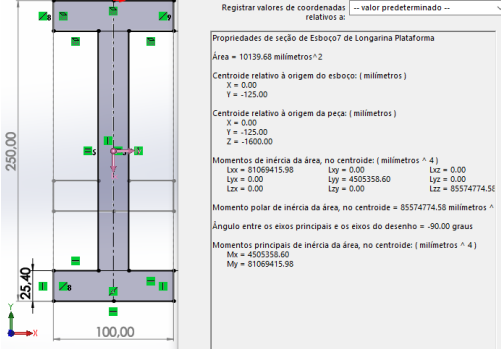
Posição	Altura(mm)	Barra Lado doca	Barra Lado veículo	Barra Piso Lado doca	Barra Piso Lado veículo	Cilindro Lado doca	Cilindro Lado veículo	Monovia
MV_P1	1200	77,2	14,6	77,2	14,6	0,2	0,0	0
	1000	91,7	17,3	64,3	12,2	89,8	16,9	49,4
	700	129,3	24,4	95,2	18,0	186,0	35,1	103,7
	540	146,5	27,7	132,9	26,9	244,9	48,0	124,5
MV_P2	1200	50,7	41,1	50,7	41,1	0	0	12,7
	1000	60,2	48,8	42,3	34,2	58,9	47,8	34,6
	700	84,9	68,8	62,5	50,6	122,1	98,8	64,5
	540	96,2	78	87,2	75,6	160,9	135,3	81,5
MV_P3	1200	35,9	55,9	35,9	55,9	0	0	9
	1000	42,6	66,4	29,9	46,5	41,8	65	24,5
	700	60,1	93,6	44,3	68,8	86,5	134,5	45,7
	540	68,1	106,1	61,8	102,9	113,9	184,1	57,7
MA_P1	1200	20,9	70,9	20,9	70,9	0	0	0,3
	1000	20,8	81,4	20,8	58,9	0	82,3	1,5
	700	20,7	117,7	20,7	86,5	0	169,1	3,5
	588	20,6	133	20,6	129	0	230,9	3,6
MA_P2	1200	77,2	14,6	77,2	14,6	0	0	0,3
	1000	77,1	17,2	77,1	12,1	0	16,9	6
	700	76,6	24,1	76,6	17,1	0	34,8	8
	540	76,3	27,3	76,3	26,5	0	47,7	12
Força Máxima		146,5		132,9		244,9		124,5

Apêndice D – Cálculo das Tensões

Viga trecho 1		
	<p>Propriedades de seção de Esboço1 de Longarina Plataforma</p> <p>Área = 6329,68 milímetros²</p> <p>Centroide relativo à origem do esboço: (milímetros)</p> <p>X = 0,00 Y = -50,00</p> <p>Centroide relativo à origem da peça: (milímetros)</p> <p>X = 0,00 Y = -50,00 Z = 0,00</p> <p>Momentos de inércia da área, no centroide: (milímetros⁴)</p> <p>Lxx = 7592956,38 Lyy = 0,00 Lzz = 0,00 Lxy = 0,00 Lyy = 4300520,30 Lyz = 0,00 Lzx = 0,00 Lzy = 0,00 Lzz = 11893476,66</p> <p>Momento polar de inércia da área, no centroide = 11893476,68 milímetros⁴</p> <p>Ângulo entre os eixos principais e os eixos do desenho = -90,00 graus</p> <p>Momentos principais de inércia da área, no centroide: (milímetros⁴)</p> <p>Mx = 4300520,30 My = 7592956,38</p>	<p>Trecho 1</p> <p>$I=7592956,38\text{mm}^4$</p> <p>$A_t=6329,68\text{mm}^2$</p> <p>$Y'=32,36\text{mm}$</p> <p>$A_{cisa}=3164,84\text{mm}^2$</p> <p>$Y=50\text{mm}$</p> <p>$S_y=155,5$</p> <p>$MF=19300000\text{Nmm}$</p> <p>$FC=31900\text{N}$</p> <p>$FA=6200\text{N}$</p>
<p>Momento fletor:</p> $\sigma_{momento} = \frac{M \cdot y}{I}$ $\sigma_{momento} = \frac{19300000 \cdot 50}{7592956,38}$ $\sigma_{momento} = 127,1\text{MPa}$ $CS = \frac{155,5}{127,1}$ $CS = 1,2$	<p>Cisalhamento:</p> $\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$ $Q = \bar{y}' \cdot A'$ $\bar{y}' = 32,36\text{mm}$ $A' = 3164,84\text{mm}^2$ $Q = 102414,2\text{mm}^3$ $\tau = \frac{31900 \cdot 102414,2}{7592956,38 \cdot 25,4}$ $\tau = 16,9\text{MPa}$ $CS = \frac{155,5}{16,9}$ $CS = 5,3$	<p>Força Axial:</p> $\sigma_{axial} = \frac{F}{A}$ $\sigma_{axial} = \frac{6200}{6329,68}$ $\sigma_{axial} = 0,98\text{MPa}$
Viga trecho 2		
	<p>Propriedades de seção de Esboço6 de Longarina Plataforma</p> <p>Área = 8234,68 milímetros²</p> <p>Centroide relativo à origem do esboço: (milímetros)</p> <p>X = 0,00 Y = -87,50</p> <p>Centroide relativo à origem da peça: (milímetros)</p> <p>X = 0,00 Y = -87,50 Z = -800,00</p> <p>Momentos de inércia da área, no centroide: (milímetros⁴)</p> <p>Lxx = 32751167,43 Lyy = 0,00 Lzz = 0,00 Lxy = 0,00 Lyy = 4402939,45 Lyz = 0,00 Lzx = 0,00 Lzy = 0,00 Lzz = 37154106,88</p> <p>Momento polar de inércia da área, no centroide = 37154106,88 milímetros⁴</p> <p>Ângulo entre os eixos principais e os eixos do desenho = -90,00 graus</p> <p>Momentos principais de inércia da área, no centroide: (milímetros⁴)</p> <p>Mx = 4402939,45 My = 32751167,43</p>	<p>Trecho 2</p> <p>$I=32751167,43\text{mm}^4$</p> <p>$A_t=8234,68\text{mm}^2$</p> <p>$Y'=58,04\text{mm}$</p> <p>$A_{cisa}=4117,34\text{mm}^2$</p> <p>$Y=87,5\text{mm}$</p> <p>$S_y=155,5$</p> <p>$MF=28300000\text{Nmm}$</p> <p>$FC=23900\text{N}$</p> <p>$FA=6200\text{N}$</p>
<p>Momento fletor:</p> $\sigma_{momento} = \frac{M \cdot y}{I}$	<p>Cisalhamento:</p> $\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$	<p>Força Axial:</p> $\sigma_{axial} = \frac{F}{A}$

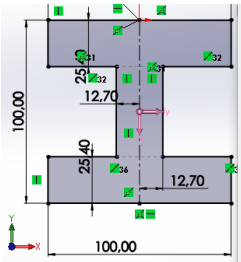
$\sigma_{momento} = \frac{28300000 \cdot 87,5}{32751167,43}$ $\sigma_{momento} = 75,6MPa$ $CS = \frac{155,5}{75,6}$ $CS = 2,05$	$Q = \bar{y}' \cdot A'$ $\bar{y}' = 58,04mm$ $A' = 4117,34mm^2$ $Q = 238970,4mm^3$ $\tau = \frac{23900 \cdot 238970,4}{32751167,43 \cdot 25,4}$ $\tau = 6,9MPa$ $CS = \frac{155,5}{\sqrt{3}}$ $CS = 6,9$ $CS = 13,01$	$\sigma_{axial} = \frac{6200}{8234,68}$ $\sigma_{axial} = 0,75MPa$
---	---	--

Viga trecho 3

	<p>Trecho 3</p> <p>$I=81069415,98mm^4$</p> <p>$At=10139,68mm^2$</p> <p>$Y'=81,11mm$</p> <p>$Acisa= 5069.84mm^2$</p> <p>$Y=125mm$</p> <p>$Sy=155,5$</p> <p>$MF=32600000Nmm$</p> <p>$FC=15900N$</p> <p>$FA=6200$</p>
--	---

<p>Momento fletor:</p> $\sigma_{momento} = \frac{M \cdot y}{I}$ $\sigma_{momento} = \frac{32600000 \cdot 125}{81069415,98}$ $\sigma_{momento} = 50,26MPa$ $CS = \frac{155,5}{50,26}$ $CS = 3,1$	<p>Cisalhamento:</p> $\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$ $Q = \bar{y}' \cdot A'$ $\bar{y}' = 81,11mm$ $A' = 5069,84mm^2$ $Q = 411214,7mm^3$ $\tau = \frac{15900 \cdot 411214,7}{81069415,98 \cdot 25,4}$ $\tau = 3,175MPa$ $CS = \frac{155,5}{\sqrt{3}}$ $CS = 3,175$ $CS = 28,2$	<p>Força Axial:</p> $\sigma_{axial} = \frac{F}{A}$ $\sigma_{axial} = \frac{6200}{10139,68}$ $\sigma_{axial} = 0,61MPa$
---	--	--

Avaliação no sentido transversal



Propriedades de seção de Esboço1 de Longarina Plataforma

Área = 6329,68 milímetros²

Centroide relativo à origem do esboço: (milímetros)

X = 0,00
Y = -50,00

Centroide relativo à origem da peça: (milímetros)

X = 0,00
Y = -50,00
Z = 0,00

Momentos de inércia da área, no centroide: (milímetros⁴)

I_x = 7592956,38 I_{xy} = 0,00 I_{xz} = 0,00
I_{yx} = 0,00 I_{yy} = 4300520,30 I_{yz} = 0,00
I_{xy} = 0,00 I_{yz} = 0,00 I_{zz} = 11893476,66

Momento polar de inércia da área, no centroide = 11893476,68 milímetros⁴

Ângulo entre os eixos principais e os eixos do desenho = -90,00 graus

Momentos principais de inércia da área, no centroide: (milímetros⁴)

M_x = 4300520,30
M_y = 7592956,38

Viga transversal
 $I = 7592956,38 \text{ mm}^4$
 $A_t = 6329,68 \text{ mm}^2$
 $Y' = 32,36 \text{ mm}$
 $A_{\text{cisa}} = 3164,84 \text{ mm}^2$
 $Y = 50 \text{ mm}$
 $S_y = 155,5$

Momento fletor:

$$\sigma_{\text{momento}} = \frac{M \cdot y}{I}$$

$$\sigma_{\text{momento}} = \frac{15100000 \cdot 50}{7592956,38}$$

$$\sigma_{\text{momento}} = 99,4 \text{ MPa}$$

$$CS = \frac{155,5}{99,4}$$

$$CS = 1,56$$

Cisalhamento:

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$$

$$Q = \bar{y}' \cdot A'$$

$$\bar{y}' = 32,36 \text{ mm}$$

$$A' = 3164,8 \text{ mm}^2$$

$$Q = 102412,9 \text{ mm}^3$$

$$\tau = \frac{30300 \cdot 102412,9}{7592956,38 \cdot 25,4}$$

$$\tau = 16,08 \text{ MPa}$$

$$\frac{155,5}{\sqrt{3}}$$

$$CS = \frac{\sqrt{3}}{16,08}$$

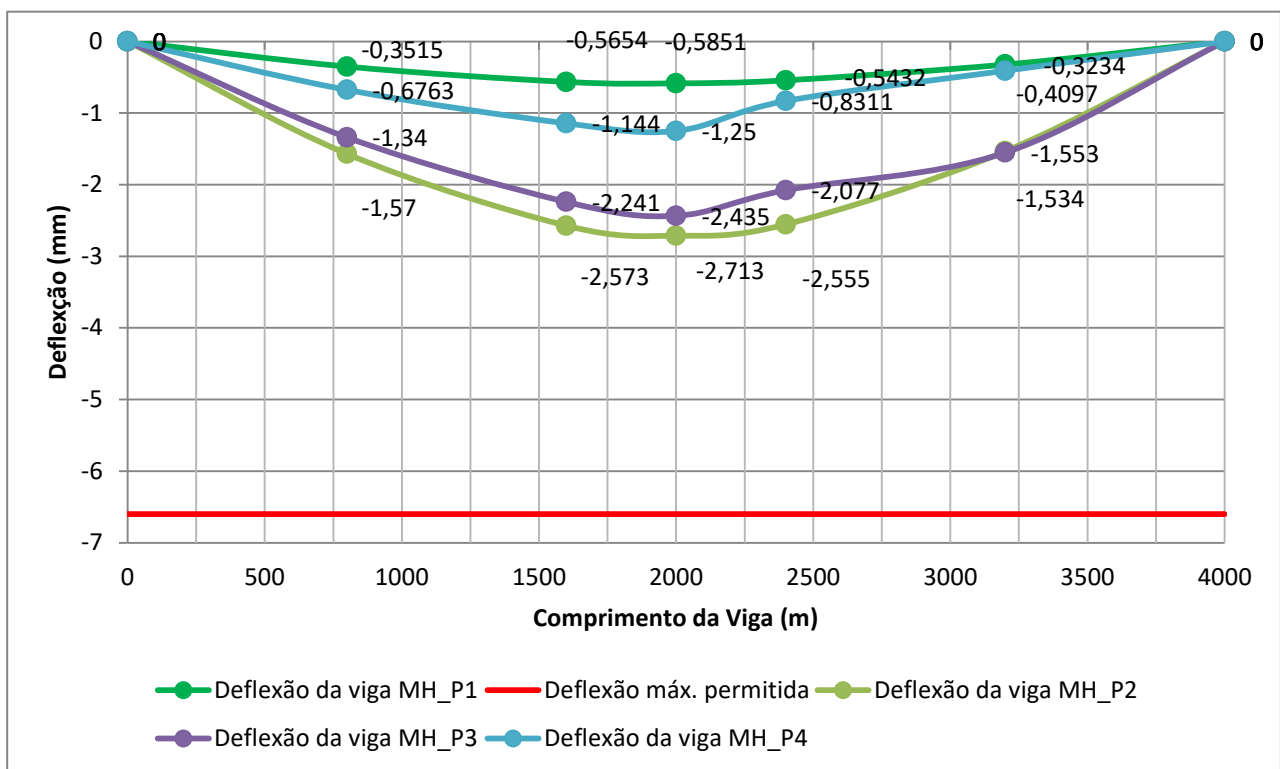
$$CS = 5,56$$

Força Axial:

$$\sigma_{\text{axial}} = \frac{F}{A}$$

Não há força axial (barra transversal)

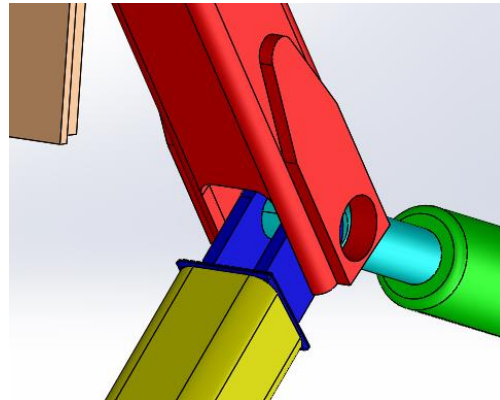
Avaliação das deflexões da viga



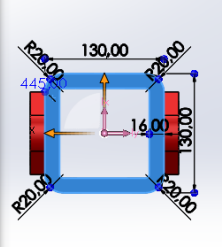
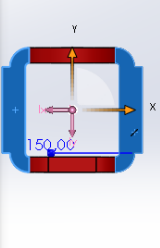
Dimensionamento Barra Plataforma

Material = ASTM A500
 Coef. Ponderação = 2,25
 Tubo de 130x130x16mm
 $I=14883245,09\text{mm}^4$
 $A=6966,37\text{mm}^2$
 $L=445\text{mm}$
 $S_y=111\text{Mpa}$
 Coef. Seg.Flamb.=4
 $E=200000$

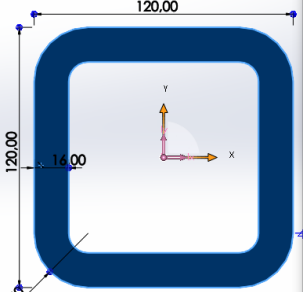
Avaliação de flambagem – Em função da movimentação é necessário realizar corte no tubo.



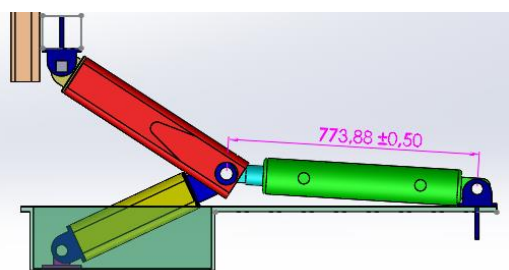
Foi adicionado um reforço na lateral do tubo a fim de equilibrar as tensões para não comprometer o critério de flambagem. O momento de inércia e área ficaram iguais na seção transversal.

Tubo integral	Tubo cortado
<p>Propriedades de seção da face selecionada de bubobarraplataforma</p> <p>Área = 6966,37 milímetros²</p> <p>Centroide relativo à origem do sistema de coordenadas de saída: (milímetro) X = 0,00 Y = 0,00 Z = 0,00</p> <p>Momentos de inércia da área, no centroide: (milímetros ^ 4) Lxx = 29766490,18 Lyy = 14883245,09 Lzz = 0,00 Lxy = 0,00 Lxz = 0,00 Lyz = 0,00 Lzx = 0,00 Lzy = 0,00 Lzz = 14883245,05</p> <p>Momento polar de inércia da área, no centroide = 29766490,18 milímetros ^ 4</p> <p>Ângulo entre os eixos principais e os eixos da peça= 0,00 graus</p> <p>Momentos principais de inércia da área, no centroide: (milímetros ^ 4) Ix = 14883245,09 Iy = 14883245,09</p> 	<p>Propriedades de seção das faces selecionadas de bubobarraplataforma</p> <p>Área = 5526,37 milímetros²</p> <p>Centroide relativo à origem do sistema de coordenadas de saída: (milímetro) X = 595,00 Y = 0,00 Z = 0,00</p> <p>Momentos de inércia da área, no centroide: (milímetros ^ 4) Lxx = 26239450,18 Lyy = 19802765,09 Lzz = 0,00 Lxy = 0,00 Lxz = 0,00 Lyz = 0,00 Lzx = 0,00 Lzy = 0,00 Lzz = 6436685,09</p> <p>Momento polar de inércia da área, no centroide = 26239450,18 milímetros ^ 4</p> <p>Ângulo entre os eixos principais e os eixos da peça= 90,00 graus</p> <p>Momentos principais de inércia da área, no centroide: (milímetros ^ 4) Ix = 6436685,09 Iy = 19802765,09</p> 
<p>$I=14883245,09\text{mm}^4$ (integral)</p> <p>$I=19802765,09\text{mm}^4$(cortado)</p> <p>$A=6966,37\text{mm}^2$(integral)</p> <p>$A=5526,37\text{mm}^2$(cortado)</p> <p>$L=445\text{mm}$</p> <p>$S_y=111\text{Mpa}$</p> <p>Coef. Seg.Flamb.=4</p> <p>$E=200000$</p>	
<p>Indicie de esbeltez</p> $K = \sqrt{\frac{I}{A}}$ $K = \sqrt{\frac{14883245,09}{6966,36}}$ <p>$K = 46,2$ (integral)</p> $K = \sqrt{\frac{19802765,09}{5526,37}}$ <p>$K = 59,8$ (cortado)</p>	$S_r = \frac{I_{ef}}{K}$ $S_r = \frac{445 \cdot 1}{46,2}$ <p>$S_r = 9,6$(integral)</p> $S_r = \frac{445 \cdot 1}{59,8}$ <p>$S_r = 7,4$(cortado)</p>
<p>Carga P_Crítica para flambagem</p> $P_{cr}=A \cdot \left[S_y - \frac{1}{E} \cdot \left(\frac{S_y \cdot S_r}{2 \cdot \pi} \right)^2 \right]$ $P_{cr}=6966,37 \cdot \left[111 - \frac{1}{200000} \cdot \left(\frac{111 \cdot 9,6}{2 \cdot \pi} \right)^2 \right]$ <p>$P_{cr}=772,2\text{KN}$ (integral)</p> $P_{cr}=5526,37 \cdot \left[111 - \frac{1}{200000} \cdot \left(\frac{111 \cdot 7,4}{2 \cdot \pi} \right)^2 \right]$ <p>$P_{cr}=612,9\text{KN}$ (cortado) MAIS CRÍTICO</p> $P_{cradm} = \frac{P_{cr}}{CS_{flambagem}}$ $P_{cradm} = \frac{612,9}{4}$ <p>$P_{cradm} = 153,2\text{KN}$</p>	<p>Tensão axial na menor área</p> $\sigma = \frac{P}{A}$ $\sigma = \frac{146500}{5526,37}$ <p>$\sigma = 26,5\text{Mpa}$</p> $CS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma}$ $CS = \frac{111}{26,5}$ <p>$CS = 4,2$</p>

<p>Logo:</p> <p style="text-align: center;">$Carga_{m\acute{a}x.} < P_{cradm}$</p> <p style="text-align: center;">$146,5KN < 153,2KN$</p>	
---	--

Dimensionamento Barra Piso	
<p>Tubo de 120x120x16mm A=6189,03mm² I=10804907.17mm⁴ SY=111Mpa L=435mm Coef. Seg.Flamb.=4 E=200000</p>	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; font-size: small;"> <p>Propriedades de seção da face selecionada de Barra Piso C6</p> <p>Área = 6189,03 milímetros²</p> <p>Centroide relativo à origem do sistema de coordenadas de saída: (milímetro)</p> <p>X = 0,00 Y = 0,00 Z = 435,00</p> <p>Momentos de inércia da área, no centroide: (milímetros⁴)</p> <p>Lxx = 10804907,17 Lyy = 0,00 Lxz = 0,00 Lxy = 0,00 Lyy = 10804907,17 Lyz = 0,00 Lzx = 0,00 Lzy = 0,00 Lzz = 21609814,34</p> <p>Momento polar de inércia da área, no centroide = 21609814,34 milímetros⁴</p> <p>Ângulo entre os eixos principais e os eixos da peça = 0,00 graus</p> <p>Momentos principais de inércia da área, no centroide: (milímetros⁴)</p> <p>Ix = 10804907,17 Iy = 10804907,17</p> <p>Momentos de inércia da área, no sistema de coordenadas de saída: (milímet</p> <p>Lxx = 1181923428,38 Lyy = 0,00 Lxz = 0,00 Lxy = 0,00 Lyy = 1181923428,38 Lyz = 0,00 Lzx = 0,00 Lzy = 0,00 Lzz = 21609814,34</p> </div>

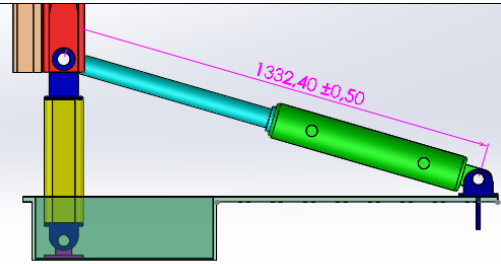
<p>Indicie de esbeltez</p> $K = \sqrt{\frac{I}{A}}$ $K = \sqrt{\frac{10804907.17}{6189,03}}$ <p style="text-align: center;">K = 41,8</p> $S_r = \frac{l_{ef}}{K}$ $S_r = \frac{435 \cdot 1}{41,8}$ <p style="text-align: center;">S_r = 10,4</p>	<p>Carga P_{Crítica} para flambagem</p> $P_{cr} = A \cdot \left[S_y - \frac{1}{E} \cdot \left(\frac{S_y \cdot S_r}{2 \cdot \pi} \right)^2 \right]$ $P_{cr} = 6189,03 \cdot \left[111 - \frac{1}{200000} \cdot \left(\frac{111 \cdot 10,4}{2 \cdot \pi} \right)^2 \right]$ <p style="text-align: center;">P_{cr} = 685,9KN</p> $P_{cradm} = \frac{P_{cr}}{CS_{flambagem}}$ $P_{cradm} = \frac{685,9}{4}$ <p style="text-align: center;">P_{cradm} = 171,5KN</p> <p style="text-align: center;">Carga_{máx.} < P_{cradm} 132,9KN < 171,5KN</p>	<p>Tensão axial</p> $\sigma = \frac{P}{A}$ $\sigma = \frac{132500}{6189,03}$ <p style="text-align: center;">σ = 21,4Mpa</p> $CS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma}$ $CS = \frac{111}{21,4}$ <p style="text-align: center;">CS = 5,1</p>
--	--	--

Avaliação do hidráulico																					
1.2.1 De acordo com a Pressão																					
<p>Segundo a J.I.C. (Joint Industry Conference), extinta em 1967 e atual N.F.P.A. (National Fluid Power Association), os sistemas hidráulicos são classificados de acordo com a pressão nominal da seguinte forma:</p>	<p>Carregamento para o sistema hidráulico: Força Total = 245KN</p>																				
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Pressão</th> <th rowspan="2">Classificação</th> </tr> <tr> <th>bar</th> <th>psi</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 a 14</td> <td>0 a 203,10</td> <td>Sistemas de baixa pressão</td> </tr> <tr> <td>14 a 35</td> <td>203,10 a 507,76</td> <td>Sistemas de média pressão</td> </tr> <tr> <td>35 a 84</td> <td>507,76 a 1218,68</td> <td>Sistemas de média-alta pressão</td> </tr> <tr> <td>84 a 210</td> <td>1218,68 a 3046,62</td> <td>Sistemas alta pressão</td> </tr> <tr> <td>Acima de 210</td> <td>Acima de 3046,62</td> <td>Sistemas de extra-alta pressão</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; font-size: small;">Tabela 1.2 - Classificação dos sistemas segundo a N.F.P.A.</p>	Pressão		Classificação	bar	psi	0 a 14	0 a 203,10	Sistemas de baixa pressão	14 a 35	203,10 a 507,76	Sistemas de média pressão	35 a 84	507,76 a 1218,68	Sistemas de média-alta pressão	84 a 210	1218,68 a 3046,62	Sistemas alta pressão	Acima de 210	Acima de 3046,62	Sistemas de extra-alta pressão	
Pressão		Classificação																			
bar	psi																				
0 a 14	0 a 203,10	Sistemas de baixa pressão																			
14 a 35	203,10 a 507,76	Sistemas de média pressão																			
35 a 84	507,76 a 1218,68	Sistemas de média-alta pressão																			
84 a 210	1218,68 a 3046,62	Sistemas alta pressão																			
Acima de 210	Acima de 3046,62	Sistemas de extra-alta pressão																			

Com um pequeno artifício matemático de substituição da equação da variável J, equação 2.7 em 2.5, e desta na equação 2.6, resulta uma nova equação que, colocada em função de dh, fornece a equação para o diâmetro mínimo admissível da haste em cm:

$$d_h = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot S \cdot \lambda^2 \cdot F_a}{\pi^3 \cdot E}} \quad (2.8)$$

Após o dimensionamento do diâmetro mínimo da haste pelo critério de Euler, estamos aptos então a escolher o diâmetro de haste dh mais indicado, pois como pode ser visto na Tabela 2.2 do item 2.1.9, para cada diâmetro de pistão Dp oferecido pelo fabricante, há dois diâmetros de hastes possíveis de ser usados. Há, entretanto, alguns fabricantes que chegam a oferecer três diâmetros de hastes para cada diâmetro de pistão, os quais se denominam normal, intermediário e pesado.



Comprimento total 1333mm.

2.1.7 Dimensionamento da Haste pelo Critério de "Euler" 6 para Deformação por Flambagem

A configuração da fixação do cilindro hidráulico no projeto é de extrema importância no seu dimensionamento, pois é a partir dela que será determinado o diâmetro mínimo de haste, uma vez que os cilindros hidráulicos são projetados para suportar unicamente cargas de tração e compressão.

A análise de deformação por flambagem baseia-se normalmente na fórmula de "Euler", uma vez que as hastes dos êmbolos têm um diâmetro pequeno em relação ao comprimento.

A carga de flambagem de acordo com Euler é obtida por:

$$K = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{\lambda^2} \quad (2.5)$$

Isso significa que com essa carga ocorre a flambagem da haste. A carga máxima de trabalho, ou máxima força Fa de avanço permitida, será dada por:

$$F_o = \frac{K}{S} \quad (2.6)$$

$$J = \frac{d_h^4 \cdot \pi}{64} \quad (2.7)$$

$$\phi_h = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot S \cdot \lambda^2 \cdot F_a}{\pi^3 \cdot E}}$$

$$\phi_h = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 4 \cdot 1333^2 \cdot 245000}{\pi^3 \cdot 200000}}$$

$$\phi_h = 65,1mm$$

No Apêndice A encontra-se a Tabela A.4 proveniente do documento ISO/TC 39/SC 1N. 5. Na Tabela 2.2 observe um exemplo comercial de um conceituado fabricante (REXROTH).

Cargas de Euler				
Cargas de Euler	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
	Uma extremidade livre e a outra fixa	(Caso Isotico) As duas extremidades articuladas	Uma extremidade articulada e a outra fixa	As duas extremidades fixas
Representação Esquemática				
	$\lambda = 2L$	$\lambda = L$	$\lambda = L \cdot (0,5)^{0,5}$	$\lambda = L/2$
Situação de Montagem para Cilindros Hidráulicos				
Notas			Guiar a carga com cuidado, porque há possibilidade de travamento.	Inadequado, provável ocorrência de travamento.

Tabela 2.1 - Exemplos de Carga de Euler.

Dp (mm)	dh (mm)	Pressão de Trabalho - PTb (bar)						
		50	75	100	125	150	175	210
40	18	225	160	120	95	75	60	45
	25	535	415	340	290	250	220	190
50	22	275	195	150	120	95	80	60
	36	965	760	635	555	490	445	390
63	28	380	280	220	180	150	130	105
	45	1215	960	810	705	630	570	505
80	36	510	380	305	255	215	185	150
	56	1485	1175	990	860	770	695	615
100	45	655	495	400	335	285	250	205
	70	1905	1495	1265	1105	990	900	800
125	56	840	640	525	440	380	335	285
	90	2550	2035	1730	1520	1365	1245	1115
150	70	1125	865	710	605	530	470	405
	100	2570	2045	1725	1510	1355	1230	1095
180	90	1635	1280	1065	920	815	730	640
	125	3425	2740	2325	2045	1840	1675	1500
200	90	1415	1095	905	770	675	600	520
	140	3870	3095	2630	2310	2080	1895	1700

Comprimento máximo fornecido Lh = 3900 mm
Lh > 3900, consultar fábrica.

Usar diâmetro da haste = 70mm
Usar diâmetro do embolo = 100mm

Avaliação de flambagem do cilindro

$$K = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{\lambda^2}$$

$$J = \frac{70^4 \cdot \pi}{64}$$

$$J = 1178588,1mm^4$$

Pressão de trabalho

$$P_{Tb} = \frac{4 \cdot F_a \cdot n_{at}}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{\phi_p^2} \right)$$

$$P_{Tb} = \frac{4 \cdot 245000 \cdot 0,9}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{100^2} \right)$$

$$P_{Tb} = 28 Bar (2800Kpa)$$

$$K = \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 1178588,1}{1333^2}$$

$$K = 1309KN$$

$$F_a = \frac{1309}{4}$$

$$F_a = 327KN$$

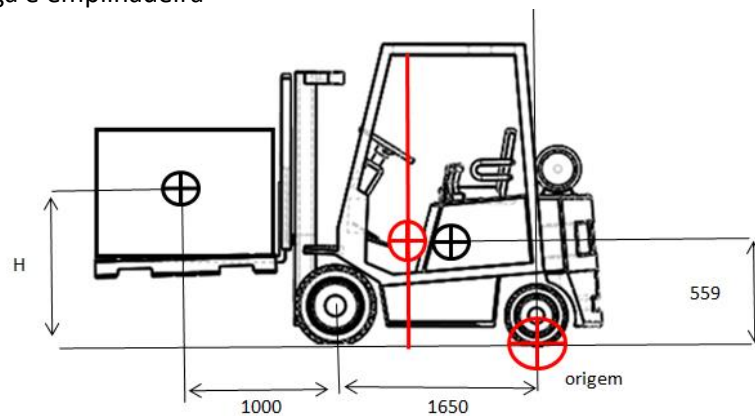
Logo:

$$Carga_{m\acute{a}x.} < F_a$$

$$245KN < 327KN$$

Apêndice E – Aspectos de Segurança

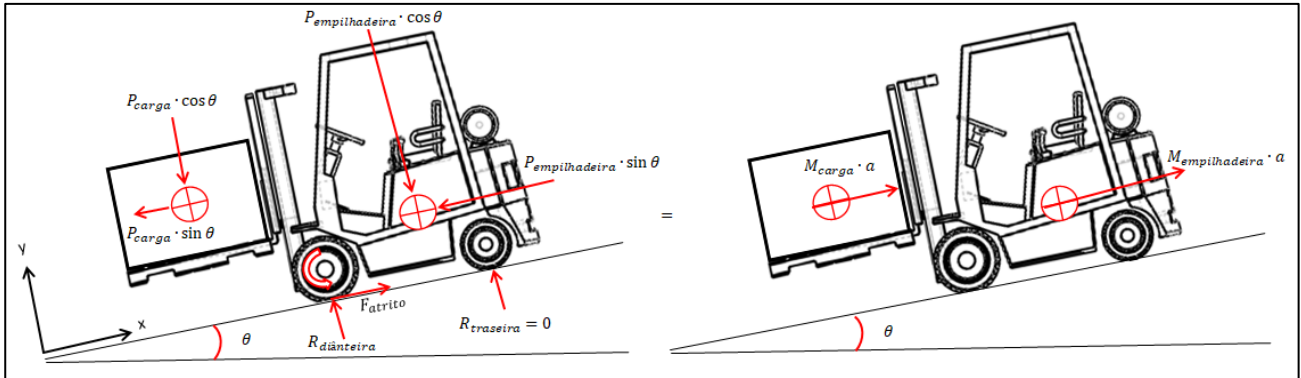
Centro de massa carga e empilhadeira



$$\bar{x} = \frac{\bar{x}_{carga} \cdot P_{carga} + \bar{x}_{empilhadeira} \cdot P_{empilhadeira}}{P_{carga} + P_{empilhadeira}}$$

$$\bar{x} = \frac{2650 \cdot 2500 + \frac{1650}{2} \cdot 4860}{2500 + 4860}$$

$$\bar{x} = 1444,9$$



$$\sum F_y = m \cdot a_y$$

$$R_{Dianteira} = (P_{Carga} + P_{Empilhadeira}) \cdot \cos \theta$$

$$R_{Dianteira} = 52581,6 \quad (\theta = 0^\circ)$$

$$R_{Dianteira} = 52381,5 \quad (\theta = 5^\circ)$$

$$R_{Dianteira} = 51860,5 \quad (\theta = 9,5^\circ)$$

$$\sum F_x = m \cdot a_x$$

$$-P_{Carga} \cdot \sin \theta - P_{Empilhadeira} \cdot \sin \theta + F_{at} = (M_{Carga} + M_{Empilhadeira}) \cdot a$$

Módulo da máxima desaceleração (m/s ²)			
$a_{x_{\max}}$ =	5,89	5,01	4,09

COEFICIENTE ATRITO =	0,6
(Cota do baricentro) x_c =	1,00 m
(Cota do baricentro) x_e =	0,83 m
(Cota do baricentro) y_e =	0,56 m
(Peso da empilhadeira) P_e =	4860 kg

$$\sum M_{E_{Dianteiro}} = \sum M_{O_{ef}}$$

$$P_{Empilhadeira} \cdot (\sin \theta \cdot \overline{y_{Emp.}} - \cos \theta \cdot \overline{x_{Emp.}}) + P_{Carga} \cdot (\sin \theta \cdot \overline{y_{Carga}} - \cos \theta \cdot \overline{x_{Carga}}) + a \cdot (m_{Emp.} \cdot \overline{y_{Emp.}} + m_{Carga} \cdot \overline{y_{Carga}}) > 0$$

$$P_{Carga} = \frac{P_{Empilhadeira} \cdot (\overline{y_{Emp.}} \cdot (\sin \theta - \cos \theta)) + (\overline{y_{Emp.}} \cdot \mu \cdot \cos \theta - \overline{y_{Emp.}} \cdot \sin \theta)}{-\overline{y_{Carga}} \cdot \sin \theta - \overline{x_{Carga}} \cdot \cos \theta - \overline{y_{Carga}} \cdot \mu \cdot \cos \theta + \overline{y_{Carga}} \cdot \sin \theta}$$

yc	Peso admissível carga Pc (kN)				
	Inclinação da Rampa q (graus)				
	0°	5°	10°	0	0
	CS = 1	CS = 1	CS = 1	CS = 1,25	CS = 1,5
	1	1	1	1,25	1,5
0,0	2379,46	2379,46	2379,46	1903,56	1586,30
0,1	2310,15	2310,15	2310,15	1848,12	1540,10
0,1	2244,77	2244,77	2244,77	1795,82	1496,51
0,2	2182,99	2182,99	2182,99	1746,39	1455,32
0,2	2124,51	2124,51	2124,51	1699,61	1416,34
0,3	2069,09	2069,09	2069,09	1655,27	1379,39
0,3	2016,49	2016,49	2016,49	1613,19	1344,33
0,4	1966,49	1966,49	1966,49	1573,19	1311,00
0,4	1918,92	1918,92	1918,92	1535,13	1279,28
0,5	1873,59	1873,59	1873,59	1498,87	1249,06
0,5	1830,35	1830,35	1830,35	1464,28	1220,23
0,6	1789,06	1789,06	1789,06	1431,25	1192,71
0,6	1749,60	1749,60	1749,60	1399,68	1166,40
0,7	1711,84	1711,84	1711,84	1369,47	1141,23
0,7	1675,67	1675,67	1675,67	1340,54	1117,12
0,8	1641,00	1641,00	1641,00	1312,80	1094,00
0,8	1607,74	1607,74	1607,74	1286,19	1071,83
0,9	1575,80	1575,80	1575,80	1260,64	1050,53
0,9	1545,10	1545,10	1545,10	1236,08	1030,07
1,0	1515,58	1515,58	1515,58	1212,46	1010,38
1,0	1487,16	1487,16	1487,16	1189,73	991,44
1,1	1459,79	1459,79	1459,79	1167,83	973,19
1,1	1433,41	1433,41	1433,41	1146,73	955,60
1,2	1407,96	1407,96	1407,96	1126,37	938,64
1,2	1383,40	1383,40	1383,40	1106,72	922,27
1,3	1359,69	1359,69	1359,69	1087,75	906,46
1,3	1336,77	1336,77	1336,77	1069,42	891,18
1,4	1314,62	1314,62	1314,62	1051,69	876,41
1,4	1293,18	1293,18	1293,18	1034,55	862,12
1,5	1272,44	1272,44	1272,44	1017,95	848,29
1,5	1252,35	1252,35	1252,35	1001,88	834,90
1,6	1232,88	1232,88	1232,88	986,30	821,92
1,6	1214,01	1214,01	1214,01	971,21	809,34
1,7	1195,71	1195,71	1195,71	956,57	797,14
1,7	1177,95	1177,95	1177,95	942,36	785,30
1,8	1160,71	1160,71	1160,71	928,57	773,81
1,8	1143,97	1143,97	1143,97	915,18	762,65
1,9	1127,70	1127,70	1127,70	902,16	751,80
1,9	1111,90	1111,90	1111,90	889,52	741,26
2,0	1096,52	1096,52	1096,52	877,22	731,02
2,0	1081,57	1081,57	1081,57	865,26	721,05
2,1	1067,02	1067,02	1067,02	853,62	711,35
2,1	1052,86	1052,86	1052,86	842,29	701,90
2,2	1039,06	1039,06	1039,06	831,25	692,71
2,2	1025,63	1025,63	1025,63	820,50	683,75
2,3	1012,53	1012,53	1012,53	810,03	675,02
2,3	999,77	999,77	999,77	799,82	666,51
2,4	987,33	987,33	987,33	789,86	658,22
2,4	975,19	975,19	975,19	780,15	650,12
2,5	963,34	963,34	963,34	770,67	642,23
2,5	951,78	951,78	951,78	761,43	634,52
2,6	940,50	940,50	940,50	752,40	627,00
2,6	929,48	929,48	929,48	743,58	619,65
2,7	918,71	918,71	918,71	734,97	612,47
2,7	908,19	908,19	908,19	726,55	605,46

2,8	897,91	897,91	897,91	718,33	598,61
2,8	887,86	887,86	887,86	710,29	591,90
2,9	878,03	878,03	878,03	702,42	585,35
2,9	868,41	868,41	868,41	694,73	578,94
3,0	859,01	859,01	859,01	687,21	572,67
3,0	849,81	849,81	849,81	679,84	566,54
3,1	840,80	840,80	840,80	672,64	560,53
3,1	831,98	831,98	831,98	665,58	554,65
3,2	823,34	823,34	823,34	658,67	548,89
3,2	814,88	814,88	814,88	651,91	543,25
3,3	806,60	806,60	806,60	645,28	537,73
3,3	798,48	798,48	798,48	638,78	532,32
3,4	790,52	790,52	790,52	632,41	527,01
3,4	782,72	782,72	782,72	626,17	521,81
3,5	775,07	775,07	775,07	620,05	516,71
3,5	767,57	767,57	767,57	614,05	511,71
3,6	760,21	760,21	760,21	608,17	506,81
3,6	752,99	752,99	752,99	602,39	501,99
3,7	745,91	745,91	745,91	596,73	497,27
3,7	738,96	738,96	738,96	591,17	492,64
3,8	732,14	732,14	732,14	585,71	488,09
3,8	725,44	725,44	725,44	580,36	483,63
3,9	718,87	718,87	718,87	575,10	479,25
3,9	712,41	712,41	712,41	569,93	474,94
4,0	706,07	706,07	706,07	564,86	470,71
4,0	699,84	699,84	699,84	559,87	466,56