



Ediun Michels

**PROJETO DETALHADO DE UMA MÁQUINA DE ELEVAÇÃO
E TRANSPORTE**

Horizontina

2012

Ediun Michels

**PROJETO DETALHADO DE UMA MÁQUINA DE ELEVAÇÃO E
TRANSPORTE**

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

ORIENTADOR: Ricardo Ferreira Severo, Me

Horizontina

2012

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

“Projeto detalhado de uma máquina de elevação e transporte”

Elaborada por:

Ediun Michels

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

**Aprovado em: 03/12/2012
Pela Comissão Examinadora**

**Professor Me. Ricardo Ferreira Severo
Presidente da Comissão Examinadora
Orientador**

**Professor Me. Anderson Dal Molin
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Professor Dr. Richard Thomas Lermen
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina
2012**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, a minha família e todos aqueles que acreditaram em mim e me apoiaram nesta caminhada.

AGRADECIMENTOS

A minha família, em especial aos meus pais Ilgo e Marlene por me ensinarem com simplicidade e dedicação valores fundamentais que serviram de base para mais esta conquista.

Ao meu professor orientador Ricardo Ferreira Severo pelo apoio na orientação, pelas horas de empenho a me orientar, pela dedicação e paciência no amadurecimento dos meus conhecimentos.

A todos os professores da FAHOR que passaram por minha vida acadêmica e que de alguma forma contribuíram para o meu aprendizado.

A empresa estudada por abrir suas portas e pela atenção recebida durante a coleta de informações, permitindo o desenvolvimento deste trabalho.

Aos grandes amigos e colegas que estiveram comigo durante a Faculdade, em especial, Ivan Borgmann, Michel Busanello, Fabiana Simon, Tiago Perin, Maurí Wallérius, César Santos, pessoas estas que me auxiliaram nos estudos durante esta longa caminhada.

“Quanto se tem muito tempo para começar um trabalho, o primeiro esforço é mínimo. Quando o tempo se reduz a zero, o esforço beira as raias do infinito. Se não existissem os últimos minutos nada neste mundo seria realizado.”

Murphy

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver o projeto detalhado de uma máquina de elevação e transporte para uma empresa metalúrgica localizada no município de Horizontina/RS. A empresa, encontra-se com problemas na sua logística interna e necessita de um equipamento que atenda a demanda de produção. O estudo iniciou com uma revisão de literatura, pesquisando em livros, catálogos e bibliografias conhecidas na área, acerca das características de equipamentos similares existentes no mercado, buscando proporcionar uma maior familiaridade com os tipos de máquinas de elevação e transporte utilizadas nas indústrias. Posteriormente, através da aplicação de uma metodologia de projeto de produto conhecida, a pesquisa focou-se em identificar as necessidades dos clientes para depois transformá-las em requisitos a serem atendidos no desenvolvimento do equipamento. Por fim, o estudo apresentou de forma detalhada as informações necessárias à construção do produto, que deve ser fabricado pela própria empresa. O desenvolvimento deste projeto permitiu a aplicação de ferramentas específicas, como QFD, Diagrama de Mudge, Matriz de avaliação, Matriz Morfológica, entre outras, que possibilitaram a obtenção de resultados que atenderam aos objetivos propostos.

Palavras-chaves:

Máquinas de elevação e transporte - projeto de produto - empresa metalúrgica de pequeno porte.

ABSTRACT

This study is aiming to develop the detailed design of a machine for lifting and transporting a metallurgical company located in the city of Horizontina/RS. The company, meets with problems in their internal logistics and needs an equipment that meets the production demand. The study began with a literature review, researching in books, catalogs and bibliographies known in the area, about the characteristics of similar products on the market, seeking to provide greater familiarity with the types of machines used for lifting and transportation industries. Later, through the application of a methodology known product design, research focused on identifying customer needs and then turns them into requirements to be met in the development of the equipment. Finally, the study presented in detail the information needed to build the product, to be manufactured by the company itself. The development of this project enabled the implementation of specific tools such as QFD, Diagrama de Mudge, Matrix evaluation, Matrix Morphological, among others, which enabled obtaining results that met the objectives.

Keywords:

Lifting and transport machine - product design - small metalworking company.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação de máquinas de levantamento.	14
Figura 2: Fases do Desenvolvimento do Projeto.	17
Figura 3: Etapas da fase de Projeto Informacional.	19
Figura 4: Etapas da fase de Projeto Conceitual.	22
Figura 5: Tarefas e processos envolvidos na análise funcional.	23
Figura 6: Técnicas para seleção de variantes de solução.	25
Figura 7: Etapas da fase de projeto detalhado.	27
Figura 8: Diagrama de Mudge.	32
Figura 9: Matriz da Casa da Qualidade.	33
Figura 10: Função Global.	36
Figura 11: Desdobramento da função global.	37
Figura 12: Concepção 1.	40
Figura 13: Concepção 2.	41
Figura 14: Leiaute Preliminar.	42
Figura 15: Carregamento na viga principal.	46
Figura 16: Carregamento na viga da cabeceira.	48
Figura 17: Carregamento na viga do trilho.	49
Figura 18: Carregamento na coluna de sustentação.	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Métodos utilizados na busca por princípios de solução.....	24
Quadro 2 - Ciclo de vida versus clientes do projeto.	29
Quadro 3 - Necessidades dos clientes.....	30
Quadro 4 - Requisitos dos clientes do projeto.....	31
Quadro 5 - Requisitos do projeto.	31
Quadro 6 - Valoração dos requisitos dos clientes.	32
Quadro 7 - Especificações do projeto - terço superior.....	35
Quadro 8 - Especificações do projeto - terço médio.....	35
Quadro 9 - Especificações do projeto - terço inferior.....	35
Quadro 10 - Princípios de solução.....	38
Quadro 11 - Concepções alternativas da estrutura funcional.	39
Quadro 12 - Avaliação Passa / não passa	40
Quadro 13 - Matriz de avaliação das concepções.....	41
Quadro 14 - Dados de entrada.	45
Quadro 15 - Solicitações empregadas no dimensionamento na viga.	45
Quadro 16 - Lista de verificação de erros e fatores de perturbação.	53
Quadro 17 - Lista de materiais fabricados.....	54
Quadro 18 - Lista de materiais comprados	54
Quadro 19 - Lista de verificação	55
Quadro 20 - Questionário de levantamento das necessidades dos clientes.....	59
Quadro 21 - Questionário de avaliação passa/não passa.	60
Quadro 22 - Análise tensões.....	63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1 A IMPORTÂNCIA DA MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS	13
2.2 MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE	13
2.3 TIPOS DE MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE	14
2.4 COMPONENTES DE MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE	15
2.5 ESCOLHA DAS MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO TRANSPORTE	16
2.6 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO	16
3 METODOLOGIA DE PROJETO DE PRODUTO	17
3.1 PROJETO DE PRODUTO	17
3.1.1 PROJETO INFORMACIONAL	18
3.1.1.1 PESQUISAR INFORMAÇÕES SOBRE O TEMA DO PROJETO	19
3.1.1.2 IDENTIFICAR AS NECESSIDADES DOS CLIENTES DO PROJETO	20
3.1.1.3 ESTABELECEER OS REQUISITOS DOS CLIENTES	20
3.1.1.4 ESTABELECEER OS REQUISITOS DE PROJETO	20
3.1.1.5 HIERARQUIZAR OS REQUISITOS DO PROJETO	21
3.1.1.6 ESTABELECEER AS ESPECIFICAÇÕES	21
3.1.2 PROJETO CONCEITUAL	21
3.1.2.1 VERIFICAR O ESCOPO DO PROBLEMA	23
3.1.2.2 ESTABELECEER A ESTRUTURA FUNCIONAL	23
3.1.2.3 PESQUISA POR PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO	24
3.1.2.4 COMBINAR PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO	24
3.1.2.5 SELECIONAR PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO	25
3.1.2.6 EVOLUIR EM VARIANTES DE SOLUÇÃO	25
3.1.2.7 AVALIAR CONCEPÇÕES	26
3.1.3 PROJETO DETALHADO	26
3.1.3.1 ELABORAR LEIANTES PRELIMINARES E DESENHOS DE FORMAS	28
3.1.3.2 ELABORAR LEIANTES DETALHADOS E DESENHOS DE FORMA	28
3.1.3.3 FINALIZAR AS VERIFICAÇÕES	28
3.1.3.4 REVISAR O PROJETO	28
4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	29
4.1 PROJETO INFORMACIONAL	29
4.1.1 NECESSIDADES DOS CLIENTES	29
4.1.2 REQUISITOS DOS CLIENTES	30
4.1.3 REQUISITOS DO PROJETO	31
4.1.4 HIERARQUIZAÇÃO DOS REQUISITOS DO PROJETO	32
4.1.5 APLICAÇÃO DA CASA DA QUALIDADE	33
4.1.6 ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO	34
4.2 PROJETO CONCEITUAL	36
4.2.1 VERIFICAÇÃO DO ESCOPO DO PROBLEMA	36
4.2.2 ESTRUTURA FUNCIONAL	36
4.2.3 PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO	37
4.2.4 COMBINAR PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO	38

4.2.5	SELEÇÃO DA COMBINAÇÃO	39
4.2.6	EVOLUÇÃO EM VARIANTES DE SOLUÇÃO	40
4.2.7	AValiaÇÃO DAS CONCEPÇÕES	41
4.3	PROJETO DETALHADO	42
4.3.1	LEIAUTES PRELIMINARES E DESENHOS DE FORMA	42
4.3.1.1	CABEÇEIRA DO TRILHO	43
4.3.1.2	TRAVAMENTOS DA ESTRUTURA	43
4.3.1.3	COLUNAS DE SUSTENTAÇÃO	43
4.3.1.4	TRILHO DE TRANSLAÇÃO	43
4.3.1.5	CONJUNTO DA PONTE	44
4.3.1.6	RODAS DE TRANSLAÇÃO	44
4.3.2	LEIAUTES DETALHADOS E DESENHOS DE FORMA	44
4.3.2.1	DIMENSIONAMENTO DA VIGA PRINCIPAL DA PONTE.....	44
4.3.2.2	DIMENSIONAMENTO DA CABEÇEIRA.....	47
4.3.2.3	DIMENSIONAMENTO DO TRILHO	49
4.3.2.4	DIMENSIONAMENTO DA COLUNA	50
4.3.2.5	DIMENSIONAMENTO DOS MOTORREDUTORES DE TRANSLAÇÃO DA PONTE	52
4.3.3	VERIFICAÇÃO DE ERROS E FATORES DE PERTURBAÇÃO	53
4.3.4	REVISÃO DO PROJETO	55
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE LEVANTAMENTO DAS NECESSIDADES DOS CLIENTES .	59
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO PASSA / NÃO PASSA.....	60
	APÊNDICE C – DETALHAMENTO DO LEIAUTE DEFINITIVO.....	61
	ANEXO A – TABELA DE SELEÇÃO DE PERFIS.....	62
	ANEXO B – ANÁLISE DE TENSÕES ATRAVÉS DO <i>SOLIDWORKS SIMULATION EXPRESS</i>	63

1 INTRODUÇÃO

Em toda indústria a organização racional dos processos e instalações de transporte são fundamentais para o sucesso da operação e resultam em maiores ganhos de produtividade. Com os meios de produção cada vez mais integrados e os processos entrelaçados, os sistemas de movimentação devem atuar de forma eficiente, pois são decisivos no cumprimento dos prazos de entrega ao cliente.

Neste contexto, o presente trabalho surge do processo de expansão de uma empresa metalúrgica de pequeno porte localizada no município de Horizontina-RS que projeta e fabrica estruturas metálicas, como torres, caçambas, reboques entre outros. A movimentação de matéria prima, conjuntos pré-montados, produtos e materiais em geral é atualmente realizada com o auxílio de dispositivos, cavaletes, empilhadeiras, talhas de pequeno porte e estruturas de transporte rústicas, perdendo assim em agilidade, qualidade e segurança.

Visando a atuação em outros segmentos de mercado e a fabricação de novos e maiores produtos a empresa necessita de um equipamento de movimentação e transporte eficiente que atenda as necessidades, solucionando os problemas com a logística interna e melhorando, conseqüentemente, o processo de produção. A realização deste trabalho justifica-se pelo fato de que a empresa em questão não possui uma máquina de elevação e transporte adequada para realizar a movimentação de cargas.

Deste modo, o estudo tem como objetivo elaborar o projeto até a fase de detalhamento de uma Máquina de Elevação e Transporte para a empresa em questão, sendo considerados objetivos específicos os seguintes:

- Identificar o problema de projeto;
- Análise dos equipamentos existentes no mercado;
- Desenvolver a fase de Projeto Informacional;
- Desenvolver a fase de projeto Conceitual;
- Desenvolver a fase de Projeto Detalhado.

A partir da identificação do problema de projeto, a análise de sistemas técnicos similares existentes no mercado buscou adquirir conhecimento para posterior aplicação no desenvolvimento do projeto.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos relacionados ao tema de estudo, abordando os princípios da movimentação de materiais, os principais tipos de máquinas de elevação e transporte, suas utilizações e componentes, baseando-se em autores da área, dissertações, teses e catálogos.

2.1 A IMPORTÂNCIA DA MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS

Quando se busca uma redução de custos em um processo produtivo, um dos fatores importantes é o encurtamento das distâncias percorridas tanto pela matéria-prima quanto pelo produto final processado, podendo ser realizado através de um sistema eficiente de movimentação (TAMASAUSKAS, 2000). Segundo Dias *apud* Langui (2001) uma análise dos sistemas e métodos para a movimentação e armazenagem em uma empresa influencia diretamente sua estrutura de custos.

Em um fábrica de automóveis, por exemplo, os sistemas de movimentação são muito importantes, pois mover os produtos rapidamente através das operações internas minimiza o tempo entre o pagamento dos materiais e o recebimento da receita de vendas de seus produtos, acelerando o retorno financeiro (LANGUI, 2001).

Para Rudenko (1976), a mecanização dos processos relacionados com o movimento de cargas, foi o principal estímulo para o notável progresso alcançado hoje, em muitas empresas. Em contribuição, Tamasauskas (2000) afirma que as atividades inerentes a um processo produtivo estão vinculadas a uma movimentação interna de cargas, seja de forma contínua ou descontínua influenciando diretamente nos resultados.

Neste contexto as instalações de transporte e movimentação são selecionadas de modo a corresponderem ao fluxo de materiais que representam o sistema geral de movimento de matéria-prima, artigos semi-acabados e produtos no departamento ou fábrica (RUDENKO, 1976).

2.2 MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE

A necessidade de movimentação de cargas nos diversos ambientes de mineração, industrial, portuário e de comércio aumenta de forma conjunta ao crescimento econômico exigindo equipamentos específicos que necessitam uma grande aplicação dos conhecimentos de engenharia (NASSAR, 2004).

Estes equipamentos específicos chamados de máquinas de elevação e transporte constituem um grupo de aparelhos de ação periódica, projetado como mecanismo próprio de elevação ou para elevação e movimentação de cargas (RUDENKO, 1976).

Para Brasil (1985), as máquinas de elevação transporte se destinam á movimentação horizontal e vertical na indústria, nos canteiros de obra, de equipamentos e materiais, sendo decisivas quando se necessita agilidade e precisão.

2.3 TIPOS DE MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE

Para Brasil (1985), estes equipamentos são classificados conforme a finalidade de sua fabricação, onde pode-se observar que alguns se enquadram no tipo de fabricação seriada e os demais implicam em projeto especial e específico para finalidade industrial bem característica, conforme Figura 1.

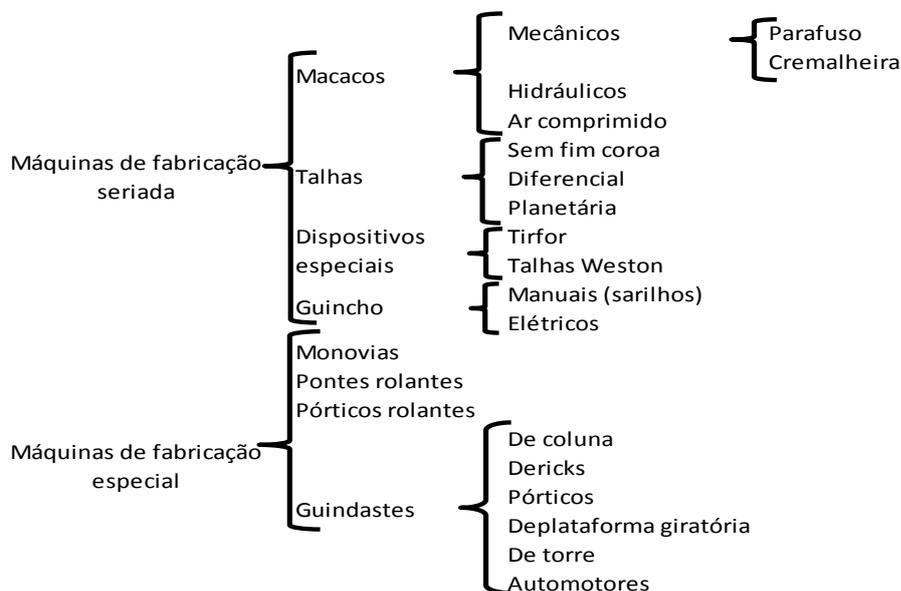


Figura 1: Classificação de máquinas de levantamento. Fonte: Brasil, 1985.

Os equipamentos segundo Brasil (1985), podem ser resumidamente conceituados da seguinte forma:

- Macacos – Destina-se a elevação de cargas pequena altura, com ou sem deslocamento horizontal, a pequena distância;

- Talhas – São máquinas constituídas essencialmente por um redutor de velocidade ligado a um tambor e polias de acionamento e suspensão de carga;
- Dispositivos especiais – Tem a mesma finalidade das talhas usando, porém sistemas patenteados de multiplicadores de força;
- Guinchos – Compostos essencialmente de tambor com cabo, freio, redutor, motor, chassi, destinam-se a elevação ou ao arraste de carga a grande altura ou distancia;
- Monovias – São talhas dotadas de um sistema de translação sobre a aba inferior de viga “I”, motorizadas ou manuais;
- Pontes rolantes – Possuem uma estrutura horizontal em ponte que permite o movimento transversal de um guincho;
- Pórticos rolantes – Diferem das pontes por possuírem estrutura própria e autonomia para sua translação;
- Guindastes – Classifica-se como guindaste qualquer máquina de levantamento dotada de lança. Também nessas máquinas a peça básica é o guincho.

2.4 COMPONENTES DE MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE

De acordo com Rudenko (1976), as principais partes componentes e as unidades das máquinas de elevação incluem:

- Órgãos flexíveis de elevação (correntes e rolos);
- Polias, sistemas de polias, rodas dentadas para correntes;
- Dispositivos de manuseio da carga;
- Dispositivo de retenção e frenagem;
- Motores;
- Transmissões;
- Componentes de transmissão (Eixos e árvores, mancais, discos, etc.);
- Trilhos e rodas de translação;
- Estruturas de máquinas (estrutura de guindastes);
- Aparelhos de controle.

Para Nassar (2004), durante o desenvolvimento e construção do equipamento é necessária à utilização de componentes disponíveis no mercado, onde o grau de utilização destes pode variar desde a seleção e especificação de elementos de máquina, até a especificação de um equipamento completo, disponível no mercado, que atenda todos os requisitos especificados.

2.5 ESCOLHA DAS MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO TRANSPORTE

As máquinas de elevação e transporte são fabricadas em grande variedade, de modelos, por esta razão, as mesmas operações podem se desempenhadas por vários métodos e aparelhos. Uma escolha adequada dos equipamentos requer além do conhecimento especial do projeto e das características operacionais do mecanismo, a compreensão da organização de produção na empresa (RUDENKO, 1976).

Ainda de acordo com Rudenko (1976), na escolha dos tipos de aparelhos a serem empregados para mecanizar qualquer processo de elevação e transporte é necessário considerar os seguintes fatores técnicos: Espécie e propriedades da carga a serem manuseadas; Capacidade horária requerida por unidade; Direção e distância do percurso; Características dos processos de produção relacionados com a movimentação de cargas; Condições específicas do local.

A escolha também é influenciada pelas considerações de uma posterior expansão da empresa e período de existência (temporário ou permanente). A partir da verificação destes fatores técnicos e seleção dos possíveis equipamentos estes são comparados do ponto de vista da engenharia e economia (RUDENKO, 1976).

2.6 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO

Segundo Passos (2011), a utilização de uma máquina de elevação e transporte com o dimensionamento adequado para o tipo de material a ser transportado, contribui para a melhor execução da tarefa e reduz grande parte do esforço físico.

De acordo com ENGENHEIRO MODERNO *apud* Langui (2001), a utilização destes equipamentos proporciona uma série de vantagens, entre elas destaca-se a redução de custo de mão de obra, redução do custo de materiais, aumento de produção, aumento da capacidade de estoque, melhor distribuição de armazenagem, maior segurança e a melhoria na circulação.

3 METODOLOGIA DE PROJETO DE PRODUTO

Por tratar-se de um trabalho específico de projeto de produto buscou-se identificar os principais métodos existentes na área de pesquisa e desenvolvimento de produto a fim de selecionar o que mais se adequa ao projeto.

A metodologia adotada é adaptada de Reis (2003), servindo de fonte básica para este trabalho, sendo apresentada ao longo deste capítulo.

3.1 PROJETO DE PRODUTO

A missão do engenheiro é encontrar soluções para problemas técnicos, usando de conhecimentos das ciências naturais e da engenharia e leva em conta os condicionantes materiais, tecnológicas e econômicas, bem como restrições legais, ambientais e aquelas impostas pelo ser humano (PAHL *et al.*, 2005).

Para Back *et al.* (2008), “o projeto de engenharia é uma atividade orientada para o atendimento das necessidades humanas, principalmente aquelas que podem ser satisfeitas por fatores tecnológicos de nossa cultura”.

O fluxograma da Figura 2 apresenta a metodologia de projeto utilizada no desenvolvimento deste trabalho, dividida em três fases.

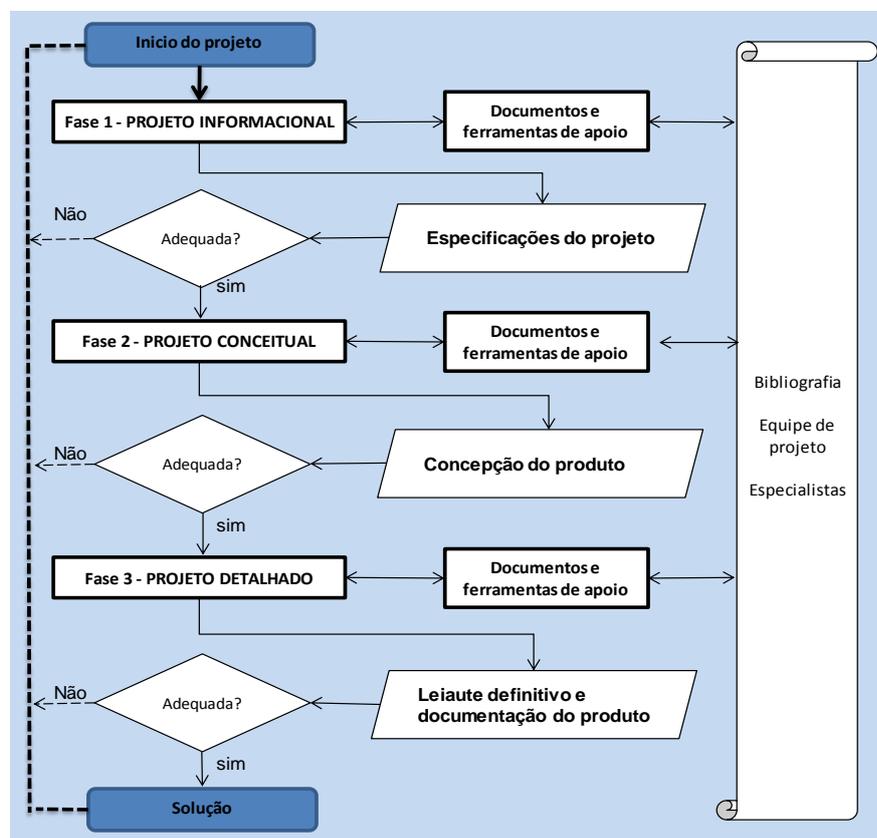


Figura 2: Fases do Desenvolvimento do Projeto. Fonte: Reis, 2003.

A primeira fase é denominada de Projeto Informacional e como resultados da mesma são estabelecidos as especificações de projeto da máquina que guiarão o desenvolvimento das demais fases do projeto.

As especificações de projeto são de fundamental importância para a fase seguinte, chamada de Projeto Conceitual. Esta fase é tida como a mais importante, pois é a etapa do processo de projeto que gera a partir de uma necessidade detectada e esclarecida uma concepção para um produto que atenda da melhor maneira possível esta necessidade (FORCELLINI, 2002).

A partir das concepções geradas parte-se para a fase de Projeto Detalhado. Nesta fase de projeto o produto evolui de concepção ao leiaute definitivo onde a disposição, a forma, as dimensões e as tolerâncias de todos os componentes devem ser finalmente fixadas (REIS, 2003).

As fases que compõem a metodologia de projeto são descritas na sequência, sendo elas; Projeto Informacional; Projeto Conceitual; Projeto Detalhado.

3.1.1 Projeto Informacional

O ponto de partida dessa fase de projeto é o problema que deu origem a necessidade de um novo produto, consiste na análise detalhada do problema de projeto buscando-se todas as informações necessárias ao seu pleno entendimento (REIS, 2003).

Segundo Amaral et al. (2006), o objetivo desta fase é, a partir da informações levantadas no planejamento e em outras fontes, desenvolver um conjunto de informações o mais completo possível, servindo de base sobre a qual serão montados os critérios de avaliação e de tomada de decisão utilizados nas etapas posteriores do processo de desenvolvimento.

O modelo de produto obtido ao final dessa fase são as especificações do projeto, ou seja, uma lista de objetivos que o produto a ser projetado deve atender. A partir destes são definidas as funções e as propriedades requeridas do produto e possíveis restrições com relação a ele e ao próprio processo de projeto (normas, prazos) (ROOZENBURG & EEKELS apud FORCELLINI, 2002).

Ainda segundo Rozenburg & Eekels apud Reis (2003), as especificações dentro do processo de projeto tem duas funções: direcionar o processo de geração de soluções e fornecer a bases para os critérios de avaliação.

O fluxograma da Figura 3 ilustra as etapas da fase de Projeto Informacional desenvolvidas neste trabalho.

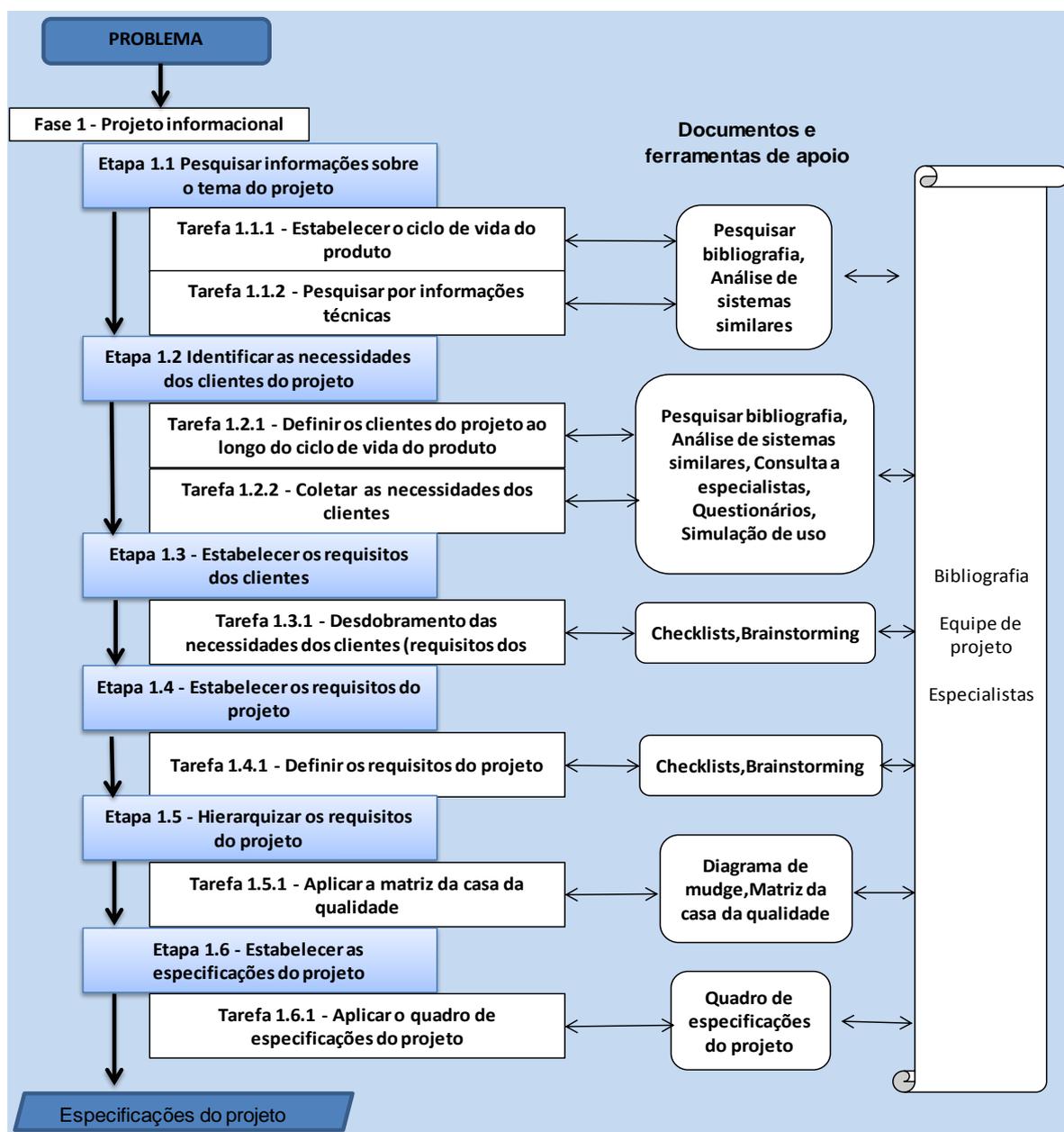


Figura 3: Etapas da fase de Projeto Informacional. Fonte: Adaptado de Reis, 2003.

3.1.1.1 Pesquisar informações sobre o tema do projeto

Sendo a grande maioria dos produtos sistemas técnicos caracterizados pelo emprego de subsistemas e componentes mecânicos, é possível então definir a partir do ciclo de vida de produtos semelhantes, fontes de pesquisa para o novo produto a ser projetado (REIS, 2003).

Esta etapa é de grande importância, pois nela são estabelecidos os clientes ao longo do ciclo de vida do produto. Resumidamente Fonseca (2010) explica que o ciclo de vida pode ser dividido em 5 macro fases, estando presentes na maioria dos trabalhos nesta área, são elas: Projeto, produção, montagem, uso, descarte.

3.1.1.2 Identificar as necessidades dos clientes do projeto

Na próxima etapa busca-se levantar as necessidades dos clientes de cada fase do ciclo de vida podendo ser realizada com o auxílio de pesquisa bibliográfica, análise de sistemas técnicos similares, consulta a especialistas, simulações de uso e questionário aos clientes do produto (REIS, 2003).

3.1.1.3 Estabelecer os requisitos dos clientes

Após o tratamento adequado dos dados dos questionários, as necessidades e desejos dos clientes são listados e convertidos em requisitos. O objetivo desta conversão é obter um refinamento sob o ponto de vista mais técnico das necessidades dos clientes (ROMANO, 2003).

Em outras palavras Amaral *et al.* (2006) explica que, as necessidades dos clientes provindas das pesquisas bibliográficas e questionários não podem ser empregados diretamente no desenvolvimento do produto, pois são expressas de forma subjetiva, de difícil aproveitamento no projeto, sendo necessário portanto, traduzí-las para a linguagem de engenharia.

3.1.1.4 Estabelecer os requisitos de projeto

A obtenção dos requisitos do projeto a partir dos requisitos dos clientes se constitui na primeira decisão física sobre o produto que está sendo projetado. Através desta ação, são definidos parâmetros mensuráveis associados às características definitivas que terá o produto (AMARAL *et al.*, 2006). Em outra definição Back *et al.* (2008) diz que, os requisitos do projeto são em essência os atributos do produto que podem ser manipulados para satisfazer os requisitos dos clientes.

Complementando, Fonseca (2000) explica que estes atributos do produto podem ser classificados em duas grandes famílias, atributos gerais e específicos. Os atributos gerais classificam-se em básicos e atributos do ciclo de vida. Os atributos específicos referem-se ao sistema técnico em questão, dividindo-se em atributos materiais, energéticos e de controle.

3.1.1.5 Hierarquizar os requisitos do projeto

A primeira tarefa dentro desta etapa é valorar os requisitos dos clientes. Esta tarefa pode ser realizada através da aplicação do diagrama de Mudge, com o propósito de identificar os requisitos mais importantes. A classificação dos requisitos dos clientes em ordem de importância é fundamental na aplicação do QFD. (próxima tarefa) (ROMANO, 2003).

A segunda etapa consiste na aplicação da matriz da qualidade ou primeira matriz do QFD (“*Quality Function Deployment*” – Desdobramento da função qualidade). Esta ferramenta possibilita o estabelecimento de relação entre as necessidades dos clientes e os requisitos do projeto auxiliando na transformação das necessidades características mensuráveis, que ao serem incorporadas no projeto constituem – se nos requisitos de qualidade (requisitos de projeto obtidos visando a qualidade) (AMARAL *et al.*, 2006).

3.1.1.6 Estabelecer as especificações

Apenas os requisitos de projeto mostrados na Casa da Qualidade não constituem ainda um conjunto de informações adequadas para representarem os objetivos a serem alcançadas nesta fase de projeto do produto, portanto, para cada requisito de projeto deve-se associar um valor meta constituindo o quadro de especificações (FORCELLINI, 2002).

Fonseca (2000), explica que, o quadro de especificações é o local onde os requisitos de projeto são associados a mais três informações, são elas: meta a ser atingida pelo requisito expressa quantitativamente, forma de avaliação da meta estabelecida a fim de verificar o seu cumprimento e aspectos que devem ser evitados durante a implementação do requisito.

3.1.2 Projeto Conceitual

De acordo com Ferreira *apud* Reis (2003), o projeto conceitual é a fase do processo de projeto que gera, a partir de uma necessidade detectada e esclarecida, uma concepção para um produto que atenda da melhor, maneira possível esta necessidade, sujeita às limitações de recursos e as restrições de projeto.

No modelo do processo de projeto proposto por Pahl e Beitz *apud* Reis (2003) o projeto conceitual é dividido em etapas. A sequência destas etapas é ilustrada na Figura 4.

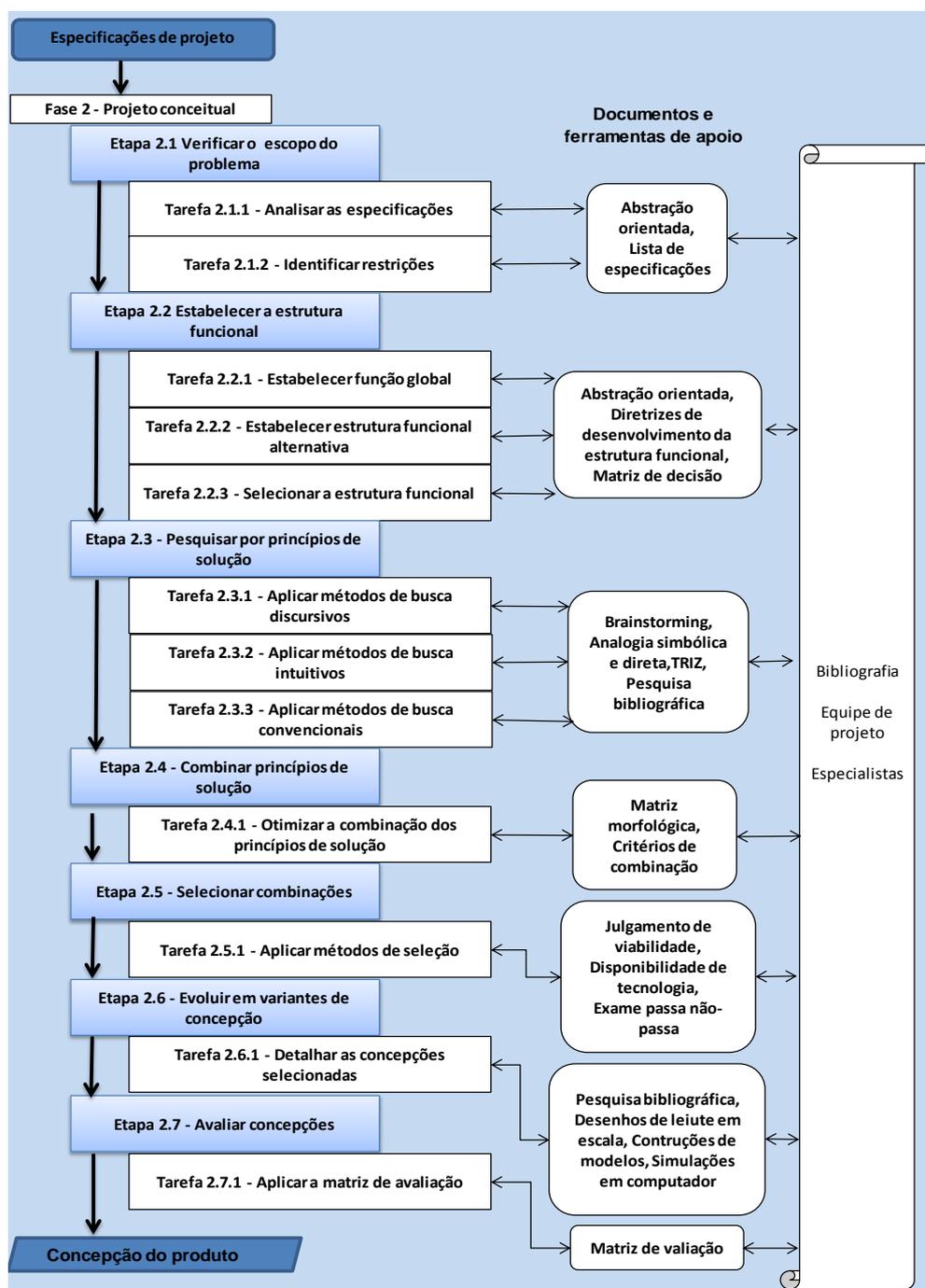


Figura 4: Etapas da fase de Projeto Conceitual. Fonte: Adaptado de Reis, 2003.

Para atingir o propósito da fase são realizadas diversas tarefas que buscam estabelecer a estrutura funcional do produto, envolvendo a definição da função

global a ser executada pelo produto, bem como de suas sub-funções (ROMANO, 2003).

3.1.2.1 Verificar o escopo do problema

Esta etapa tem por objetivo fazer um estudo compreensivo do problema num plano mais abstrato, de forma a abrir caminho para soluções melhores. Nesse sentido a abstração significa ignorar o que é particular ou casual e enfatizar o que é geral e essencial (PAHL e BEITZ *apud* REIS, 2003).

De acordo com Forcellini (2002), o resultado desse estudo conduzirá a uma solução melhor do problema e proporcionará um melhor entendimento da tarefa de projeto, sendo indispensável para o êxito nas etapas subsequentes do projeto conceitual.

3.1.2.2 Estabelecer a estrutura funcional

Partindo da abstração feita na etapa anterior, o que permitiu o estabelecimento criterioso da função global do sistema, o resultado ao final desta etapa é a estrutura das funções elementares ou estrutura de operações básicas, caso se trabalhe com funções de baixa complexidade ou padronizadas (FORCELLINI, 2002). O processo de obtenção das funções elementares pode ser visualizado na Figura 5.

Neste processo segundo Back *et al.* (2008), a função global pode ser decomposta sucessivamente em funções mais simples, funções parciais e até ao nível de funções elementares, onde o problema pode parecer mais fácil

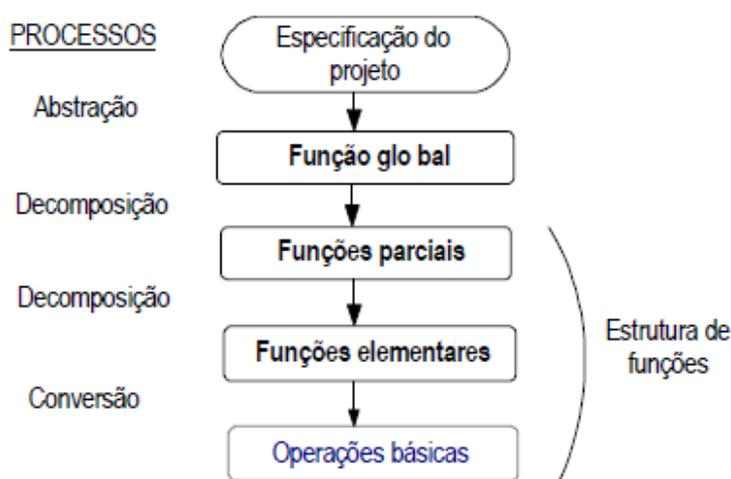


Figura 5: Tarefas e processos envolvidos na análise funcional. Fonte: Forcellini, 2002.

Reis (2003), descreve resumidamente que nesta etapa têm-se três tarefas, tais como:

- Estabelecer a função global com base no fluxo de material, energia e sinal através do emprego de um diagrama de bloco, expressando a relações entre as entradas e saídas do sistema independente de uma solução;
- Estabelecer estruturas funcionais alternativas, ou seja, a subdivisão da função global visando facilitar a busca por princípios de solução;
- Selecionar a estrutura funcional adequada ao projeto partindo das diversas estruturas funcionais geradas.

3.1.2.3 Pesquisa por princípios de solução

Nesta etapa da metodologia passa-se do abstrato ao concreto, da função à forma onde a cada uma das subfunções da estrutura funcional escolhida na etapa anterior é atribuído um princípio de solução (REIS, 2003).

Segundo Forcellini (2002), na busca de princípios de solução pode-se utilizar de vários métodos divididos por questões didáticas, em convencionais, intuitivos e discursivos. O Quadro 1 apresenta os principais métodos utilizados.

Para Reis (2003), o emprego de todos os métodos listados no Quadro 1 seria contraproducente, e por isso deve-se escolher aqueles que melhor se adaptam ao projeto na busca dos princípios de solução.

CLASSIFICAÇÃO	MÉTODO
Convencionais	Pesquisa bibliográfica; Análise de sistemas naturais; Análises de sistemas técnicos existentes; Analogias; Medições e testes em modelos.
Intuitivos	<i>Brainstorming</i> ; Método 635; Método Delphi; Sinergia; Analogia direta; Analogia Simbólica; Combinação de métodos.
Discursivos	Estudo sistemático de sistemas técnicos; Estudo sistemático com o uso de esquemas de classificação; Uso de catálogos de projeto; TRIZ- teoria da solução de problemas inventivos; Método da matriz morfológica.

Quadro 1 - Métodos utilizados na busca por princípios de solução. Fonte: Adaptado de Reis, 2003.

3.1.2.4 Combinar princípios de solução

Uma vez obtidos os princípios de solução para cada uma das subfunções da estrutura funcional do produto, é necessário combiná-los de forma a atender a função global do sistema. Com emprego da matriz morfológica proposta por Pahl *et*

al., (2005) são estabelecidas combinações de princípios de solução entre as subfunções da estrutura funcional (linhas da matriz).

Neste método lança-se na primeira coluna as subfunções a serem satisfeitas e nas linhas correspondentes os princípios de solução pesquisados. Após a interligação de todos os princípios de solução escolhidos para cada subfunção, tem-se uma possível estrutura de funcionamento como possível solução global (PAHL *et al.*, 2005).

3.1.2.5 Selecionar princípios de solução

De acordo com Reis (2003), para minimizar riscos de eliminar uma solução promissora há a necessidade de se empregar métodos sistemáticos de seleção de princípios de solução que se adaptem à pequena quantidade de informações disponíveis nesta etapa.

Adaptado das obras de Back, Forcellini *apud* Reis (2003), o método proposto utiliza três técnicas para reduzir as variantes geradas a poucas promissoras soluções. A Figura 6 mostra a sequência de uso dessas técnicas.

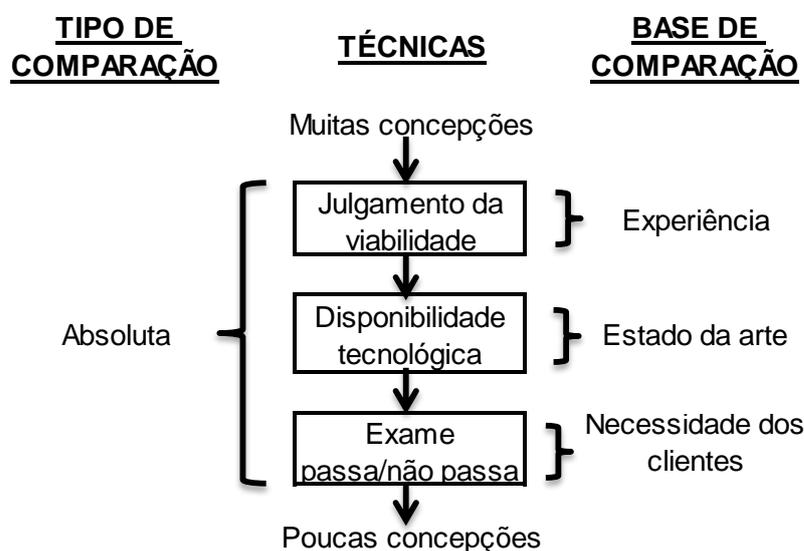


Figura 6: Técnicas para seleção de variantes de solução. Fonte: Adaptado de Back, Forcellini *apud* Reis, 2003.

3.1.2.6 Evoluir em variantes de solução

Segundo French *apud* Reis (2003), a partir deste ponto o nível de detalhamento de uma concepção deve permitir a continuidade do projeto e a avaliação de sua viabilidade. Para tanto, a concepção deve ser desenvolvida até que os meios de desempenhar cada uma das funções principais tenham sido fixados e

suficientemente detalhados para tornar possível o cálculo aproximado de pesos e dimensões gerais e a exequibilidade na medida do possível, possa ser garantida.

3.1.2.7 Avaliar Concepções

O objetivo principal desta tarefa é o de escolher dentre as concepções geradas pelas atividades anteriores o melhor dos conceitos, o qual será transformado em produto final (AMARAL *et al.*, 2006). Para tal, faz-se necessário o uso de métodos ou procedimentos sistemáticos, compatíveis com a limitação de informações e que auxiliem na tomada de decisão quanto à escolha da melhor concepção.

Um dos métodos de seleção mais utilizados segundo Pahl *et al.* (2005), é o método da matriz de decisão que utiliza critérios de avaliação, podendo ser estes critérios as especificações ou os requisitos dos clientes.

3.1.3 Projeto Detalhado

No projeto detalhado a disposição, a forma, as dimensões e as tolerâncias de todos os componentes devem ser finalmente fixadas, onde as especificações dos materiais e a viabilidade técnica e econômica devem ser reavaliadas. Ao final desta fase o modelo de produto é expresso pela documentação completa necessária à produção do produto (PAHL e BEITZ *apud* REIS, 2003).

Para Forcellini (2002), nessa fase de projeto o modelo do produto evolui da concepção ao leiaute definitivo do produto. Este último deve ser desenvolvido até o ponto onde uma verificação clara da função, durabilidade, produção, montagem, operação e custos, possam ser feita.

De acordo com Pahl e Beitz *apud* Reis (2003), o nível de detalhamento a ser alcançado nessa fase deve incluir:

- Estabelecimento do leiaute definitivo (arranjo geral e compatibilidade espacial);
- Projeto preliminar das formas (formato de componentes e materiais);
- Procedimentos de produção;
- Estabelecimento de soluções para qualquer função auxiliar.

Uma síntese das atividades dessa fase pode ser visualizada no fluxograma da Figura 7, onde é empregado uma série de normas e procedimentos padronizados conforme as necessidades dos meios de fabricação.

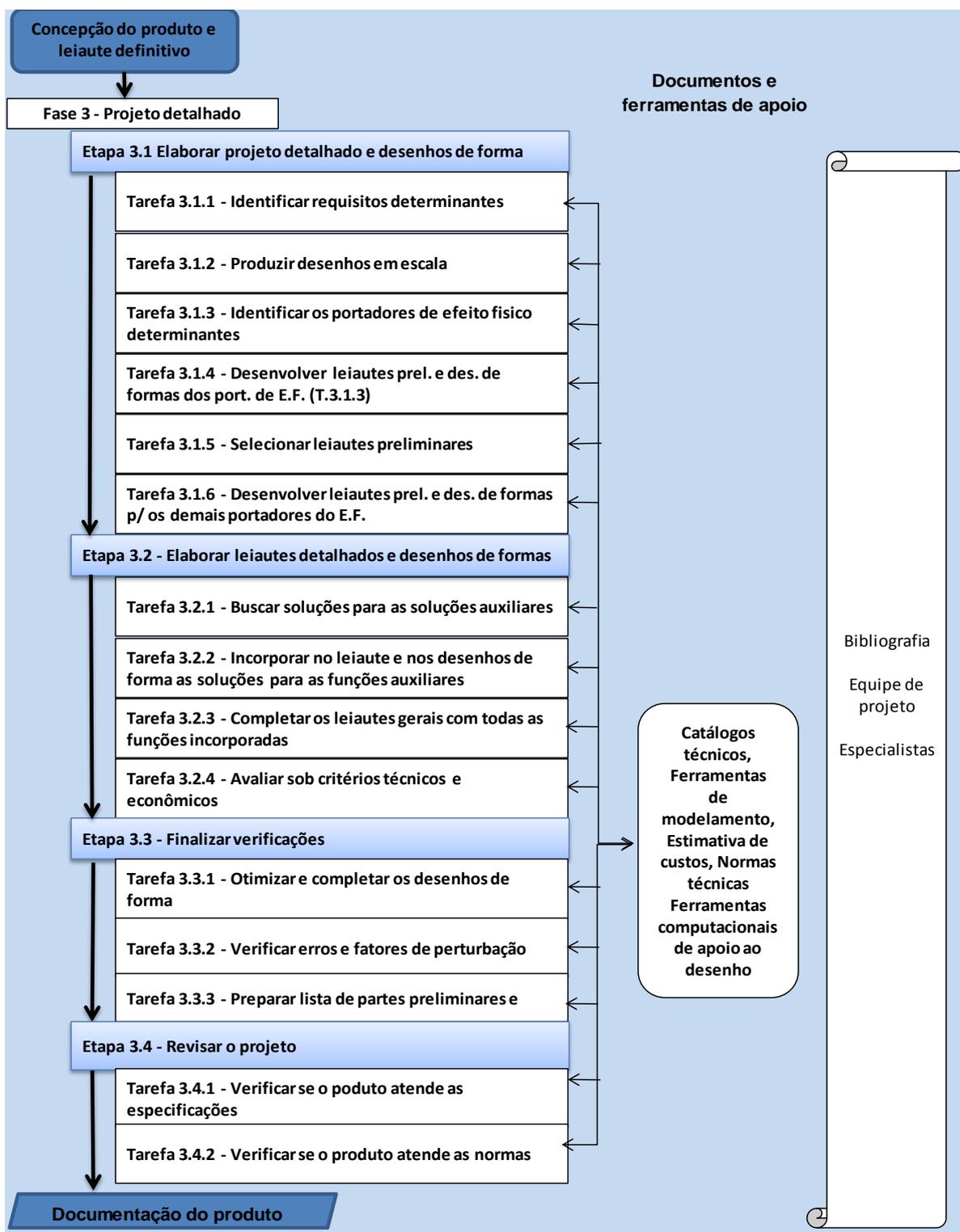


Figura 7: Etapas da fase de projeto detalhado. Fonte: Adaptado de Reis, 2003.

3.1.3.1 Elaborar leiautes preliminares e desenhos de formas

Segundo Reis (2003), esta etapa é decomposta em várias tarefas, são elas:

- Identificação de requisitos determinantes;
- Produção de desenhos em escala;
- Identificação dos portadores de efeito físico determinantes;
- Desenvolver leiautes preliminares e desenhos de forma.

3.1.3.2 Elaborar leiautes detalhados e desenhos de forma

Nessa etapa deve-se prestar atenção nas normas referentes à área de domínio do produto e normas gerais de projeto e produção, devem-se efetuar cálculos detalhados dos parâmetros envolvidos (REIS, 2003).

A primeira tarefa desta etapa é a determinação de quais funções auxiliares essenciais são necessárias tendo em vista a proposta em uso. Para essas funções, buscam-se preferencialmente soluções já conhecidas, como peças padronizadas ou de catálogos (BACK *et al.*, 2008)

A segunda tarefa é a de incorporar no leiaute e nos desenhos de forma as soluções para as funções auxiliares observando as regras básicas (clareza, simplicidade e segurança) e as diretrizes de projeto abordadas detalhadamente na obra de Pahl *et al.* (2005) como metodologias de anteprojeto.

3.1.3.3 Finalizar as verificações

Reis (2003), cita as principais tarefas constituintes desta etapa, são elas:

- Aperfeiçoar e completar os desenhos de forma;
- Verificar erros e fatores de perturbação;
- Preparar lista de partes preliminares e documentos iniciais para a produção.

3.1.3.4 Revisar o projeto

De acordo com metodologia proposta, esta é a última etapa do projeto detalhado, sendo que a preocupação aqui é a de verificar se o produto atende as especificações e as normas estabelecidas para que possa cumprir a função para o qual foi projetado.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Neste capítulo são apresentados os resultados da aplicação da metodologia proposta, onde as fases são desenvolvidas na mesma ordem da metodologia, apresentando os dados e a evolução do projeto.

4.1 PROJETO INFORMACIONAL

Nesta fase a primeira etapa foi o estabelecimento do ciclo de vida do produto e os clientes ao longo de cada fase do ciclo. Após a pesquisa por informações técnicas apoiadas em bibliografia disponível, estudo à produtos semelhantes realizado na revisão bibliográfica e diálogo a empresa, foi possível estabelecer o ciclo de vida e os clientes ao longo do mesmo. No Quadro 2 são descritos os clientes em cada uma das 5 fases do ciclo de vida estabelecidas.

FASE DO CICLO DE VIDA	CLIENTES
Projeto	Nesta fase do ciclo de vida os clientes do projeto são as pessoas que desenvolvem o projeto
Fabricação	Nesta fase os clientes do projeto são as pessoas responsáveis pela fabricação dos componentes, ou seja, os colaboradores da empresa.
Montagem	Nesta fase os clientes são as pessoas responsáveis por montar os componentes fabricados e deixar o produto pronto para operação
Operação	São as pessoas que operam o equipamento diariamente ou periodicamente na empresa
Manutenção	Os clientes da fase de manutenção são as pessoas que efetuam periodicamente a manutenção do equipamento

Quadro 2 - Ciclo de vida versus clientes do projeto.

A partir do estabelecimento do ciclo de vida e dos clientes ao longo de cada fase, parte-se para o levantamento das necessidades de cada um dos clientes do projeto.

4.1.1 Necessidades dos clientes

A obtenção das necessidades dos clientes foi feita com utilização de pesquisa bibliográfica, análise de sistemas técnicos similares, *brainstorming*, consulta a especialistas e questionários identificando os desejos dos mesmos em relação às características produto.

Dentre estes métodos pode-se destacar o *brainstorming* e o questionário (apêndice A) como os que mais retratam as necessidades dos clientes do projeto. O Quadro 3 apresenta algumas das manifestações dos clientes.

FASES	DESEJOS DOS CLIENTES
Projeto	Que seja simples
Fabricação	Que seja fácil de fabricar Que seja barato Que não fabricado compra-se facilmente Que possa ser fabricado na empresa
Montagem	De fácil montagem Que possa desmontar e movimentar
Uso	Que pode ser operado com facilidade Que tenha segurança Que não quebre
Manutenção	Que seja fácil de consertar Conserto com baixo custo Que não apresente problemas Que tenha vida útil adequada

Quadro 3 - Necessidades dos clientes.

As necessidades foram classificadas e agrupadas de acordo com a fase do ciclo de vida permitindo uma melhor elaboração da lista de requisitos (próxima etapa).

4.1.2 Requisitos dos clientes

Nesta etapa as necessidades dos clientes obtidas no item anterior passam por um processo de conversão para obter um refinamento sob o ponto e vista mais técnico. O Quadro 4 apresenta os requisitos de cada cliente ao longo do ciclo de vida.

FASE	REQUISITOS DOS CLIENTES
Projeto	1. Ter projeto simples.
Fabricação	2. Fácil fabricação. 3. Baixo custo de fabricação. 4. Possuir componentes comerciais. 5. Possível de fabricação pela empresa.
Montagem	6. Fácil montagem. 7. Ser desmontável.

Continua

Continuação

Uso	8. Ser de fácil operação. 9. Ser seguro. 10. Ser confiável.
Manutenção	11. Fácil manutenção. 12. Baixo custo de manutenção. 13. Pouca manutenção. 14. Ter vida útil adequada.

Quadro 4 - Requisitos dos clientes do projeto.

4.1.3 Requisitos do projeto

Definidos os requisitos dos clientes, parte-se para definição dos requisitos de projeto. Os requisitos do projeto são classificados de acordo com atributos do produto, divididos basicamente em gerais e específicos. A conversão dos requisitos dos clientes em requisitos do projeto resume-se em dizer, como vai se atender ao que o cliente necessita. O Quadro 5 apresenta os requisitos do projeto.

REQUISITOS DO PROJETO			
Atributos Gerais	Básicos	Funcionamento	Suportar as solicitações impostas Transportar a velocidade desejada Direções de transporte Altura de levante Distância de deslocamento
		Ergonômico	Controle com poucos comandos
		Econômico	Custo de fabricação Custo de operação Custo de manutenção
		Confiabilidade	Período entre manutenções (MTBF) Vida útil
		Segurança	Atender as normas de segurança
		Legal	Atender as normas aplicáveis
	Ciclo de vida	Fabricabilidade	Peças especiais sem necessidade de máquina especial Possível de ser fabricada com recursos disponíveis.
		Montabilidade	Montagem com recursos disponíveis Tempo de desmontagem
		Usabilidade	Flexibilidade de geometria de cargas
		Mantenabilidade	Manutenção simples
Atributos específicos	Materiais	Geométricos	Peças sofisticadas padronizadas Tolerâncias classe média
		Material	Materiais de baixo custo Materiais padronizados
		Peso	Peso por volume total da máquina
	Energético	Cinético	Possível de instalação na rede local

Quadro 5 - Requisitos do projeto.

4.1.4 Hierarquização dos requisitos do projeto

A primeira tarefa dentro desta etapa foi valoração dos requisitos dos clientes através do emprego o diagrama de Mudge (Figura 8), que permite confrontar os requisitos um a um de modo a avaliar qual destes é mais importante e o quanto é mais importante na concepção do produto.

DIAGRAMA DE MUDGE
Número dos requisitos

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	SOMA	%	VC
1	2B	3A	4B	5B	6C	1B	8B	9A	10A	1C	11C	13B	14B	4	2	2
	2	3C	2C	5B	2C	2C	2C	9A	10B	2B	2C	13C	14C	11	5	4
		3	3A	5B	3A	3C	3B	9A	10C	3B	3B	3B	3C	30	14	9
			4	5A	4A	4B	4B	9B	10C	4C	12C	13C	4B	18	8	7
				5	5C	7C	5C	9B	10B	5B	5C	13C	5C	21	10	8
					6	6A	6B	9A	10B	6C	12C	13B	14C	10	5	3
						7	7B	9B	10B	11B	12B	13B	14B	4	2	2
							8	9B	10C	8C	12B	13C	14B	3	1	1
								9	9C	9C	9C	9C	9B	39	18	10
									10	10B	10C	10C	10B	28	13	9
										11	12B	13B	14B	3	1	1
											12	13B	12C	12	6	5
												13	13C	20	9	8
													14	14	6	6
														Total	217	100

VALOR DE IMPORTÂNCIA	
A = 5 pts.	Muito mais importante.
B = 3 pts.	Mediamente mais importante.
C = 1 pts.	Pouco mais importante.

Figura 8: Diagrama de Mudge.

Com o objetivo de facilitar a aplicação dos requisitos dos clientes na casa da qualidade (QFD), os valores resultantes do Diagrama de Mudge foram atrelados a uma escala de um a dez (VC), obtendo-se um agrupamento mais uniforme. O Quadro 6 apresenta a valoração dos requisitos dos clientes.

VC	Requisitos
10	Ser seguro
9	Baixo custo de fabricação
9	Ser confiável
8	Possível de fabricação pela empresa
8	Pouca manutenção
7	Possuir componentes comerciais
6	Vida útil adequada
5	Baixo custo de manutenção
4	Fácil fabricação
3	Fácil montagem
2	Ter projeto simples
2	Desmontável
1	Fácil operação
1	Fácil manutenção

Quadro 6 - Valoração dos requisitos dos clientes.

A hierarquização feita pela matriz QFD gerou duas listas de requisitos do projeto classificados por ordem de importância, uma sem a consideração dos correlacionamentos (sem o telhado) e outra considerando os correlacionamentos (com o telhado). A partir deste ponto fez-se necessário uma avaliação sobre qual lista adotar, estabelecendo como critério a coerência da classificação em relação ao projeto.

A lista de requisitos valorados foi dividida em três partes (terços) conforme o seu grau de importância (mais importantes, importantes e menos importantes) facilitando na comparação dos requisitos e na geração de critérios no andamento do projeto. Ao comparar os terços das duas listas de requisitos verificou-se que havia diferenciações entre as mesmas. Tendo como exemplo, no primeiro terço das duas listas, dois requisitos de um total de oito não se repetem.

Diante disso, após a revisão do preenchimento da matriz sem revelar erros, optou-se por utilizar a lista de hierarquização dos requisitos sem considerar o telhado da matriz, pois apresenta mais coerência em relação ao projeto.

4.1.6 Especificações do projeto

Após a hierarquização feita na etapa anterior, a próxima etapa consiste na aplicação do quadro de especificações, onde cada um dos requisitos do projeto é associado a mais três informações, são elas: valor meta; forma de avaliação e aspectos indesejados. O Quadro 7 apresenta o terço superior das especificações do projeto.

	REQUISITO	VALOR META	FORMA DE AVALIAÇÃO	ASPECTOS INDESEJADOS
1	Custo de fabricação	< R\$ 80.000,00	Soma de custos de produção	Custo de fabricação alto
2	Atender a normas aplicáveis	100%	Análise do projeto	Excesso de precauções
3	Fabricação com recursos disponíveis	100%	Análise do projeto	Necessidade de recursos especiais
4	Atender as normas de segurança	100%	Análise do projeto	Excesso de proteção
5	Suportar as solicitações	≥ 5 Toneladas	Ensaio	Superdimensionamento
6	Peças sem necessidade de máquinas especiais	100%	Contagem	Uso de máquinas sofisticadas
7	Transportar a velocidade desejada	Trans. ≤ 0,5 m/s Elev. ≤ 0,1 m/s	Análise cinética	Danificar a carga

Continua

Continuação

8	Materiais de baixo custo	< 8,00 R\$/kg	Soma dos custos de matéria prima	Custo elevado de materiais
9	Custo de manutenção	< R\$ 100 / mês	Soma de custos de manutenção	Alto custo com manutenção

Quadro 7 - Especificações do projeto - terço superior.

O Quadro 8 apresenta o terço médio das especificações do projeto

	REQUISITO	VALOR META	FORMA DE AVALIAÇÃO	ASPECTOS INDESEJADOS
10	Materiais padronizados	80%	Contagem	Necessidade de materiais especiais
11	Período entre manutenções (MTBF)	> 6 meses	Monitoramento	Redução do intervalo de manutenção
12	Peças sofisticadas padrão	100%	Contagem	Aumento do custo de fabricação
13	Tolerâncias classe média	IT8	Medições	Mau funcionamento
14	Montagem com recursos disponíveis	100%	Contagem	Necessidade de recursos especiais
15	Direções de transporte	≥ 2	Análise do projeto	Limitação de movimentos
16	Instalação na rede local	220 V	Testes	Rede local incompatível
17	Manutenção simples	<2 h	Cronometragem	Difícil manutenção

Quadro 8 - Especificações do projeto - terço médio.

O Quadro 9 apresenta o terço inferior das especificações do projeto.

	REQUISITO	VALOR META	FORMA DE AVALIAÇÃO	ASPECTOS INDESEJADOS
18	Vida útil	> 15 anos	Cronometragem	Baixa vida útil
19	Altura de levante	>4,5 e < 5 m	Medição	Não atender a necessidade
20	Controle com poucos comandos	≤ 2	Contagem	Aumento da complexidade
21	Distância de deslocamento	Long. ≥ 24 m Trans. ≤ 5 m	Medição	Não atender à necessidade
22	Tempo de desmontagem	< 2 dias	Cronometragem	Perda de tempo elevando o custo
23	Custo de operação	< R\$ 2,00 /h	Som dos custos de mão de obra + insumos	Elevado custo de operação
24	Peso/volume total da máquina	< 7,9 Tonel./m ³	Pesagem /medição	Elevado peso do conjunto
25	Flexibilidade de geometria de cargas	90%	Contagem	Não atender à necessidade

Quadro 9 - Especificações do projeto - terço inferior.

4.2 PROJETO CONCEITUAL

O projeto conceitual inicia-se com as especificações do projeto e termina com a determinação da concepção do produto. A seguir são apresentadas as etapas desta fase.

4.2.1 Verificação do escopo do problema

Através da análise das especificações obtidas na fase anterior, partiu-se para a verificação do escopo do problema, esta que é a primeira etapa da fase de projeto conceitual. Esta análise possibilitou a determinação da natureza do problema que reside em elevar e movimentar cargas.

Uma comparação das especificações ao problema permitiu verificar uma relação direta destas com o mesmo, deste modo o escopo do problema continua sendo válido.

4.2.2 Estrutura funcional

A primeira tarefa dentro desta etapa é o estabelecimento da função global do sistema com base no fluxo de energia, sinal e carga representado através de um diagrama de bloco. As entradas e saídas do sistema permite realizar a tarefa de movimentação de cargas, conforme Figura 10.

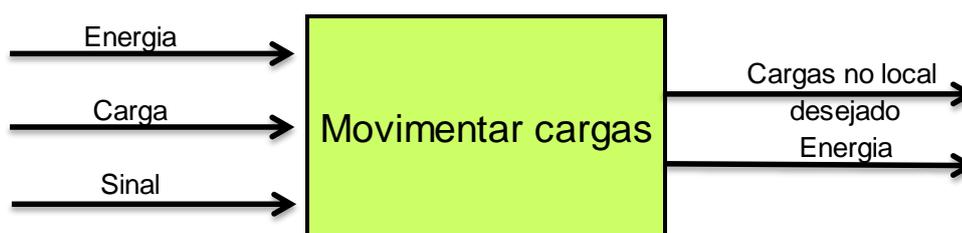


Figura 10: Função Global.

Após o estabelecimento da função global a próxima etapa é a subdivisão da função global em funções parciais e elementares visando facilitar a busca por princípios de solução. Baseando-se principalmente em sistemas técnicos existentes, a derivação da função global ilustrada na Figura 11 é apresentada por meio de uma estrutura funcional que mais se adequa ao projeto.

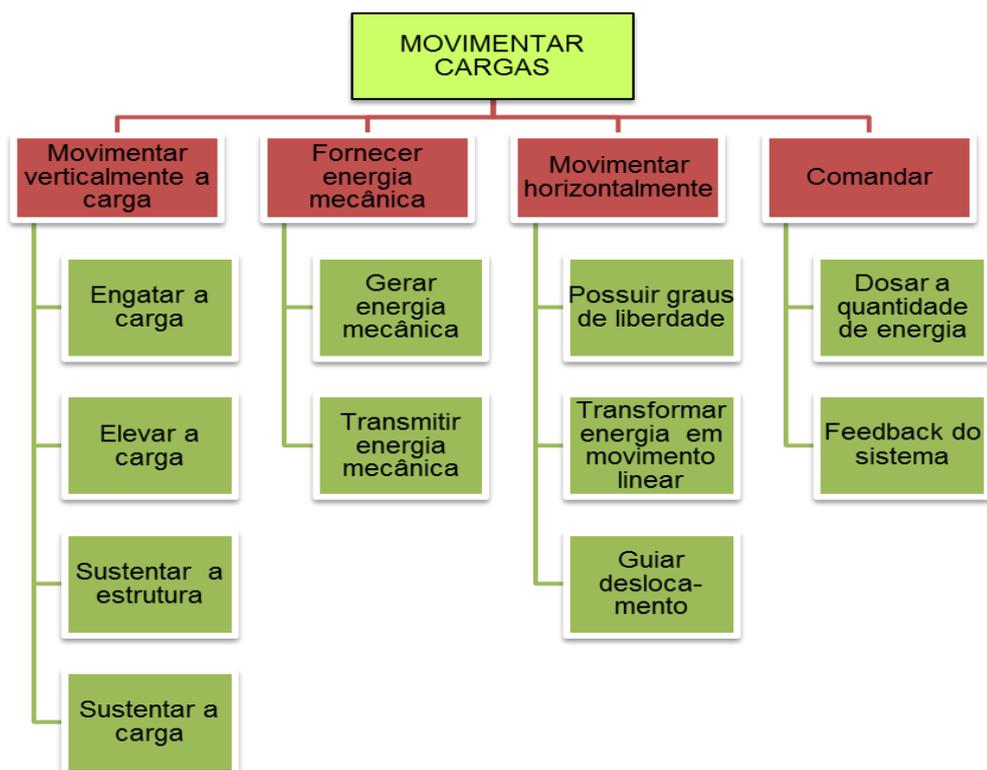


Figura 11: Desdobramento da função global.

4.2.3 Princípios de solução

Nesta etapa, para cada função elementar determinada na etapa anterior são atribuídos um ou mais princípios de solução, como mostra o Quadro 10. De acordo com o que propõe Forcellini (2002), na busca por princípios de solução utilizou-se o método da matriz morfológica, além da consulta a catálogos de fabricantes, sistemas técnicos existentes e pesquisas bibliográficas.

FUNÇÃO	PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO		
Engatar a carga	 Engate rápido	 Gancho	 Amarração
Elevar a carga	 Talha elétrica	 Talha manual	 Talha de alavanca
Sustentar a carga	 Cabo de aço	 Corrente	
Sustentar a estrutura	 Sustentação no solo	 Sustentação aérea	

Continua

Continuação

Gerar energia mecânica	 Manualmente	 Motor pneumático	 Motor elétrico
Transmitir energia mecânica	 Engrenagem	 Corrente	 Correia
Possuir graus de liberdade	 1	 2	 3
Transf. energia em movimento linear	 Trole	 Trole e Roda	 Roda
Guiar deslocamento	 Trilho perfil W	 Trilho perfil U	 Trilho perfil I
Dosar quantidade de energia	 Botoeira com cabo	 Controle remoto	 Manualmente
Feedback do sistema	 Visual	 Alerta sonoro	Automático

Quadro 10 - Princípios de solução.

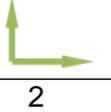
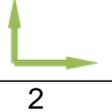
4.2.4 Combinar princípios de solução

Após a pesquisa por princípios de solução para cada uma das funções elementares realizada na etapa anterior, faz-se necessário a combinação das mesmas buscando atender a função global do sistema. Através do emprego da matriz morfológica e a luz dos critérios propostos por Pahl *et al.* (2005), a combinação dos princípios de solução gerou três concepções alternativas que compõem a estrutura funcional do equipamento, apresentadas no Quadro 11.

FUNÇÃO	CONCEPÇÃO 1	CONCEPÇÃO 2	CONCEPÇÃO 3
Engatar a carga	 Gancho	 Engate rápido	 Engate rápido
Elevar a carga	 Talha elétrica	 Talha elétrica	 Talha manual

Continua

Continuação

Sustentar a carga	 Corrente	 Cabo de aço	 Cabo de aço
Sustentar a estrutura	 Sustentação no solo	 Sustentação no solo	 Sustentação aérea
Gerar energia mecânica	 Motor elétrico	 Motor elétrico	 Manualmente
Transmitir energia mecânica	 Engrenagem	 Engrenagem	 Engrenagem
Possuir graus de liberdade	 2	 3	 2
Transf. rotação em movimento linear	 Rodas	 Trole e rodas	 Trole
Guiar deslocamento	 Trilho perfil W	 Trilho perfil W	 Trilho perfil I
Dosar quantidade de energia	 Controle remoto	 Botoeira c/ cabo	 Manualmente
Feedback do sistema	 Visual	Automático	 Visual

Quadro 11 - Concepções alternativas da estrutura funcional.

4.2.5 Seleção da combinação

Posteriormente a combinação de princípios de solução gerando três concepções, é preciso selecionar a concepção de estrutura funcional que melhor desempenha a função global do equipamento. O método de seleção utilizado adaptado de Forcellini (2002) faz uso de três técnicas diferentes, são elas: Julgamento de viabilidade, disponibilidade de tecnologia e exame passa/não passa.

A aplicação da primeira técnica, ou seja, o julgamento de viabilidade revelou que a concepção 3 torna-se inviável por possuir elementos como a trilho de deslocamento perfil "I" e a sustentação aérea, não sendo possível sua fabricação. A aplicação da segunda técnica que avalia a disponibilidade de tecnologia para

fabricação não eliminou nenhuma das concepções restantes, pois o produto pode ser fabricada com a tecnologia disponível.

Para a utilização da técnica passa/não passa elaborou-se um questionário (Apêndice B) baseado nos requisitos dos clientes, onde buscou-se confrontar cada requisito com as concepções alternativas. O Quadro 12 apresenta o resultado da avaliação das duas concepções, sendo considerado não conclusivo, pois o desempenho de ambas as concepções apresenta-se semelhante.

CONCEPÇÃO	RESPOSTAS														RESULTADO
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Concepção 1	p	p	p	p	p	p	p	p	np	p	p	np	p	p	passa
Concepção 2	np	p	np	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	passa

Quadro 12 - Avaliação Passa / não passa

4.2.6 Evolução em variantes de solução

A partir das técnicas de seleção aplicadas, esta etapa busca detalhar as concepções geradas de forma que os meios de desempenhar cada função tenham sido definidos, assim como as dimensões espaciais e estruturais de cada componente. Nas Figura 12 e Figura 13 estão representadas, respectivamente as concepções 1 e 2.

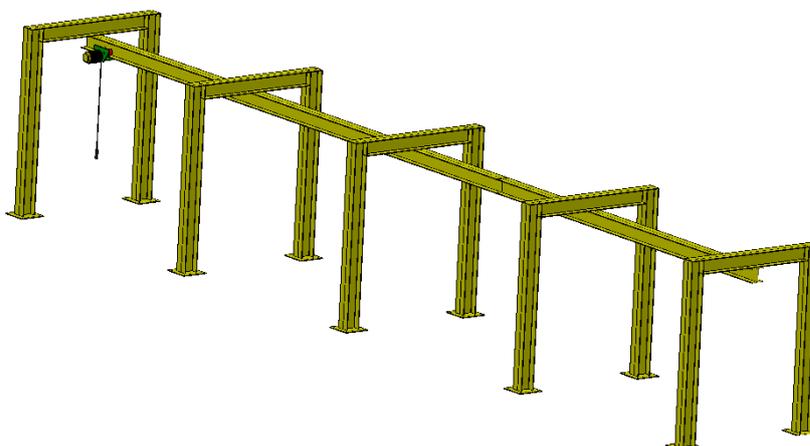


Figura 12: Concepção 1.

Ambas as concepções apresentam uma distância de deslocamento longitudinal de 24 metros, uma altura de 5 metros e uma largura de 4,7 metros, sendo que se diferenciam apenas na capacidade de deslocar-se em determinadas direções.

A escolha de qual concepção será transformada em produto final e que seguirá adiante na fase de projeto detalhado é realizado na próxima etapa.

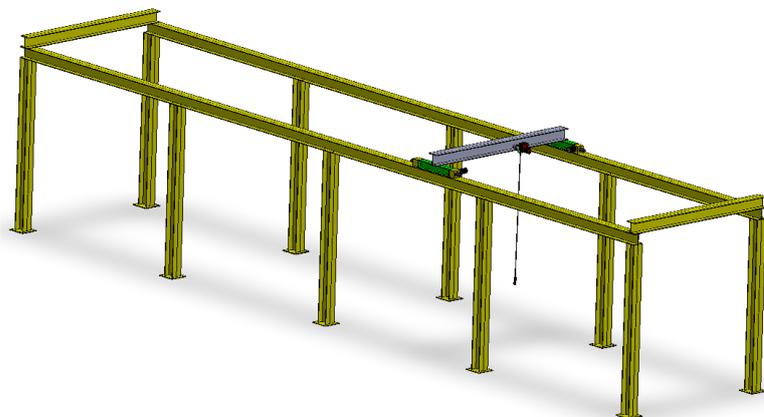


Figura 13: Concepção 2.

4.2.7 Avaliação das concepções

Com a aplicação da matriz de avaliação buscou-se avaliar as concepções com relação aos requisitos do projeto através de uma análise quantitativa. O Quadro 13 apresenta esta avaliação, onde a concepção 2 apresentou-se mais adequada para atender aos requisitos de projeto, sendo o equipamento caracterizado como uma ponte rolante.

Requisitos de Projeto	Especificação de projeto	QFD	Vi	Concepção 1	Nível de satisfação da concepção 1	Concepção 2	Nível de satisfação da concepção 2
Custo de fabricação	< R\$ 80.000,00	182	10	5	50,00	3	30,00
Atender a normas aplicáveis	100%	171	9,4	5	46,98	5	46,98
Fabricação com recursos disponíveis	100%	144	7,9	5	39,56	5	39,56
Atender as normas de segurança	100%	130	7,1	3	21,43	5	35,71
Suportar as solicitações	≥ 5 Toneladas	129	7,1	5	35,44	5	35,44
Peças s/ neces. de máquinas especiais	100%	124	6,8	5	34,07	5	34,07
Transportar a velocidade desejada	T ≤ 0,5 / E ≤ 0,1 m/s	102	5,6	3	16,81	5	28,02
Materiais de baixo custo	≤ 8,00R\$/kg	81	4,5	5	22,25	5	22,25
Custo de manutenção	< R\$ 100 / mês	70	3,8	5	19,23	5	19,23
Materiais padronizados	80%	65	3,6	5	17,86	5	17,86
Período entre manutenções	> 6 meses	65	3,6	5	17,86	5	17,86
Peças sofisticadas padrão	100%	57	3,1	5	15,66	5	15,66
Tolerâncias classe média	IT 8	53	2,9	5	14,56	5	14,56
Montagem com recursos disponíveis	100%	48	2,6	5	13,19	5	13,19
Direções de transporte	≥ 2	44	2,4	3	7,25	5	12,09
Instalação na rede local	220 V	43	2,4	5	11,81	5	11,81
Manutenção simples	< 2 h	34	1,9	3	5,60	3	5,60
Vida útil	> 15 anos	31	1,7	5	8,52	5	8,52
Altura de levante	> 4,5 e < 5 metros	30	1,6	5	8,24	5	8,24
Controle com poucos comandos	< 2	24	1,3	5	6,59	1	1,32
Distância de deslocamento	Long. ≥ 24 Tras. ≤ 5	19	1,0	5	5,22	5	5,22
Tempo de desmontagem	< 2 dias	15	0,8	3	2,47	3	2,47
Custo de operação	< R\$ 2,00 /h	15	0,8	5	4,12	5	4,12
Peso/volume total da máquina	< 7,9 Tonel./m³	8	0,4	5	2,20	5	2,20
Flexibilidade de geometria de cargas	90%	2	0,1	3	0,33	5	0,55
		1686			427,25		432,53

Legenda: 5 - Atende 3 - Atende parcialmente 1 - Não atende

Quadro 13 - Matriz de avaliação das concepções.

4.3 PROJETO DETALHADO

A partir dos conceitos definidos na fase anterior, na fase de projeto detalhado a forma, as dimensões e os materiais devem ser fixadas e o modelo de produto é expresso pela documentação completa. Nesta fase torna-se comum o emprego de ferramentas como, CAD, CAE entre outros, que facilitam o entendimento e reduzem esforços.

4.3.1 Leiautes preliminares e desenhos de forma

A partir da escolha de uma concepção para ser transformada em produto final, a primeira tarefa desta etapa é a identificação dos portadores de efeito físico permitindo selecionar os componentes que desempenham as funções principais do equipamento. A Figura 14 apresenta o leiaute preliminar do equipamento e os portadores de efeito físico.

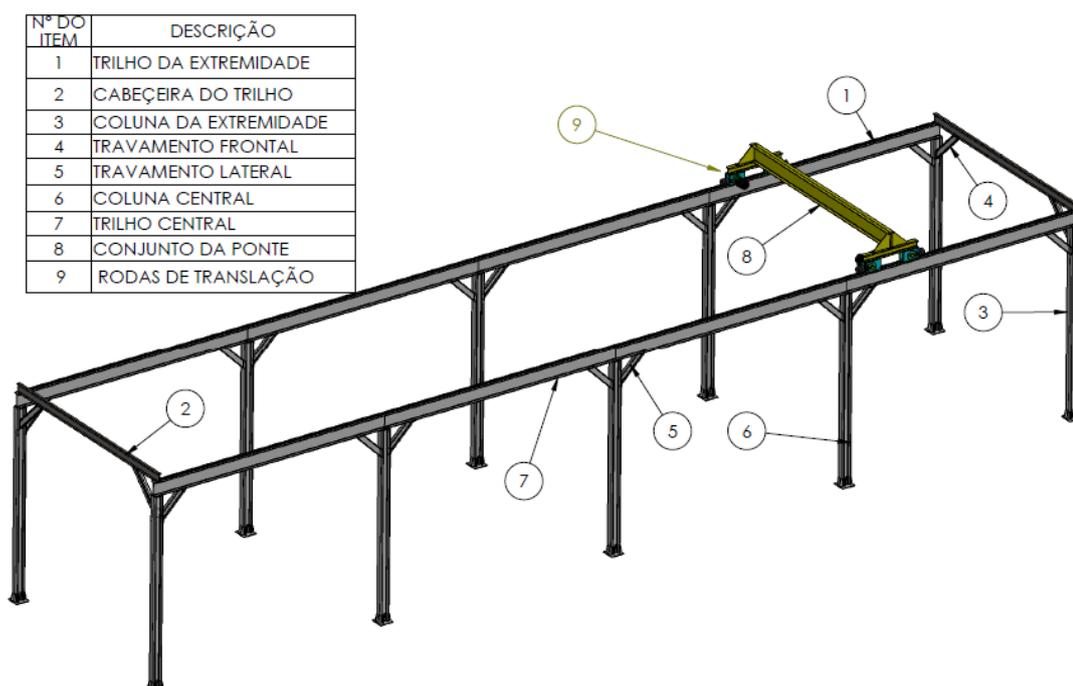


Figura 14: Leiaute Preliminar.

Através do leiaute preliminar proposto na Figura 14, podem ser visualizados os principais componentes da estrutura do equipamento. A seguir estão descritos algumas informações e parâmetros de cada conjunto.

4.3.1.1 Cabeceira do trilho

A cabeceira do trilho é responsável por oferecer o *feedback* ao sistema de translação, representando o fim do curso de translação da ponte, suportando o impacto gerado pela inércia do conjunto. Construído em perfil “W200 x15” de aço carbono 1020, este componente apresenta um comprimento total de 5,77 metros. Os detalhes da construção do mesmo podem ser visualizados no apêndice C item 02.

4.3.1.2 Travamentos da estrutura

Os componentes 4 e 5 (travamento frontal e lateral) são os responsáveis por evitar o balanço da estrutura no sentido transversal e longitudinal garantindo a estabilidade nas condições mais severas de carregamento. Construídos em perfil “W 150x13” de aço carbono 1020, possuem chapas de fechamento nas suas extremidades permitindo a sua fixação na estrutura através de ligação aparafusada. Os detalhes da sua construção podem ser visualizados no apêndice C, itens 04 e 05.

4.3.1.3 Colunas de sustentação

Responsável pela sustentação da carga e de toda estrutura do equipamento as colunas (componentes 3 e 6) são construídas em perfil “W200X46,1” de aço carbono 1020. Com um comprimento de 5 metros possuem fixada na extremidade superior uma chapa de fechamento que permite a fixação dos trilhos sobre a mesma. Na extremidade inferior possuem uma chapa de base fixada a coluna através de nervuras com o objetivo de ajudar na estabilidade. Os detalhes da construção deste componente podem ser visualizados no Apêndice C. O item 4.3.2.4 deste capítulo apresenta o cálculo e seleção do componente.

4.3.1.4 Trilho de translação

Os trilhos (componentes 1 e 7) são o caminho pelo qual percorrem as rodas de translação que movimentam a ponte no sentido longitudinal, tem a função de guiar o deslocamento do conjunto da ponte. Construído em aço carbono 1020 de perfil “W360x51” e 6,5 metros de comprimento, possui fixado na parte superior uma guia que permite a orientação das rodas de translação. O dimensionamento e detalhes da construção podem ser visualizados no Apêndice C. O dimensionamento deste componente pode ser visualizado no item 4.3.2.3 deste capítulo.

4.3.1.5 Conjunto da ponte

O componente 8 (Conjunto da ponte) tem como peça principal uma viga perfil “W410x53” de aço carbono 1020 com 5,7 metros de comprimento apoiada nas extremidades em cabeceiras de perfil “W150x22,5” de 1,5 metros de comprimento também de aço carbono 1020. O conjunto da ponte é equipado com um sistema de elevação e translação transversal composto por um trole e uma talha elétrica de cabo de aço com capacidade para 5 toneladas.

O conjunto talha e trole esta equipado com um motor de elevação de 7,5 CV com velocidade de subida de 0,07 m/s e um motor de translação de 0,75 CV com velocidade de 0,23 m/s, ambos com motofreios controlados através de uma botoeira com cabo. O detalhamento da construção do conjunto da ponte pode se visualizado no apêndice C item 08. Os dimensionamentos da viga da ponte e cabeceira podem ser visualizados no item 4.3.2.1 e 4.3.2.2 respectivamente.

4.3.1.6 Rodas de translação

As rodas de translação (componente 9) são responsáveis por transportar toda a carga somada ao peso do conjunto de translação ao longo dos trilhos. Equipados com dois motorreductores elétricos síncronos de 0,5 CV possuem um diâmetro nominal de 0,25 m e movimentando-se a 0,5 m/s transformam o movimento rotacional em movimento linear deslocando o conjunto da ponte ao longo dos trilhos.

Estes componentes não são fabricados pela empresa, sendo que as especificações descritas no Quadro 18 são baseadas na necessidades da aplicação.

4.3.2 Leiautes detalhados e desenhos de forma

Nesta etapa as informações são mais refinadas sendo efetuado um detalhamento dos cálculos e a verificação quanto à adequação para a solução do problema de projeto.

4.3.2.1 Dimensionamento da viga principal da ponte

Os dimensionamentos dos componentes seguem o determinado pela norma NBR 8400 - Cálculo de Equipamentos para Levantamento e Movimentação de Cargas – (ABNT, 1984) e pela CMAA 70 - *Crane Manufacturers Association of America* - (AISE, 1983).

De acordo com os dados até então apresentados o equipamento deve possuir as características construtivas, apresentadas no Quadro 14.

CARACTERÍSTICAS	DADOS	UNID.
Altura de levante	5	m
Distância de translação da talha	4,7	m
Distância de translação da ponte	24	m
Carga de serviço	5000	Kg
Velocidade de elevação	≤ 0,1	m/s
Velocidade de translação da talha	≤ 0,5	m/s
Velocidade de translação da ponte	≤ 0,5	m/s
Tempo médio diário de funcionamento	4	h
Material	AÇO SAE 1020 Laminado à frio	

Quadro 14 - Dados de entrada.

Conforme determinado na norma NBR 8400 (ABNT, 1984) a carga real na viga principal da ponte é resultante da aplicação de fatores que levam em conta as condições de funcionamento e a carga de serviço. O Quadro 15 mostra a determinação das solicitações empregadas no dimensionamento da viga.

SOLICITAÇÕES	COMPOSIÇÃO	VALOR
SG – Solicitações devidas aos pesos dos próprios elementos	Viga da ponte (53 kg/m x 5,5 m)	292 kg
	Talha e trole (Estimativa de peso)	500 kg
	SOMATÓRIO	792 kg
SL – Solicitações devido à carga de serviço	Carga de serviço	5000 kg
	Coeficiente dinâmico (Veloc. de elevação 0,1m/s)	1,15
	MULTIPLICAÇÃO	5750 kg
SH – Solicitações devidas a efeitos horizontais mais desfavoráveis	Soma da carga nas rodas	5792 kg
	Coeficiente devido ao rolamento	0,12
	MULTIPLICAÇÃO	695 kg
Mx – Coeficiente de majoração	Numero convencional de ciclos = $6,3 \times 10^4$	Grupo 4 Mx = 1
	Estados de cargas = P 2/3	

Quadro 15 - Solicitações empregadas no dimensionamento na viga.

Com base no Quadro 15 a Equação 1 demonstra o cálculo da carga real na ponte, onde:

SL = Solicitação devidas a carga de serviço.

SH = Solicitações devidas a efeitos horizontais mais desfavoráveis.

SG = Solicitações devidas ao peso dos próprios elementos.

Mx = Coeficiente de majoração.

$$Carga\ real = (SL + SH + SG) * Mx$$

$$Carga\ real = (5750\ kg + 695\ kg + 792\ kg) * 1$$

$$Carga\ real = 7237\ kg \simeq 70995\ N$$

Para o dimensionamento da viga da ponte admite-se que o maior esforço ocorre quando o talha esta carregada e posicionada no centro da mesma. A Figura 15 demonstra o carregamento na viga e o momento fletor gerado com a respectiva carga.

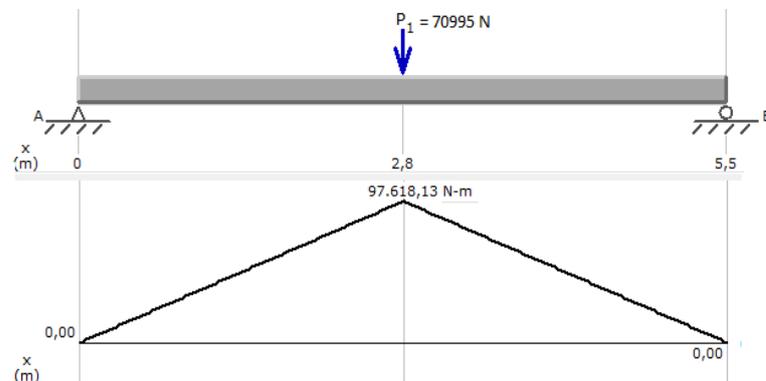


Figura 15: Carregamento na viga principal.

De acordo com a Figura 15 o momento fletor máximo na viga é 97618,13 N. A próxima etapa é o cálculo do momento de inércia mínimo que deve possuir a seção transversal da viga através da Equação 2, retirada da NBR 8400, onde:

F_{adm} = Flecha admissível: $L / 800$ (m)

P = Carga (N)

L = Comprimento da viga (m)

I = Momento de inércia (cm^4)

G = Módulo de elasticidade: 200 (Gpa)

(2)

$$I = \frac{P * L^3}{(G * F_{adm})} * \frac{1}{48}$$

$$I = \frac{70994,9N * 5,5^3}{(200\ GPa * 5,5/800)} * \frac{1}{48}$$

$$I = 17896,7\ cm^4$$

Com momento de inércia definido utilizou a tabela disponibilizada pela Gerdau (2012) visualizada no Anexo A para definição do perfil da ponte. O perfil escolhido é o “W410x53” com as dimensões detalhadas no Apêndice C e momento de inércia igual a 18734 cm^4 . Com a definição do perfil da viga realiza-se o cálculo da tensão máxima atuante na seção transversal da mesma através da Equação 3, onde:

$T_{\text{máx.}}$ = Tensão máxima (MPa)

T_{adm} = Tensão admissível (MPa)

T_e = Tensão de escoamento do material: 350 MPa

Y = Distância da borda a até a linha neutra da viga: 0,201 m

I = Momento de inércia (cm^4)

C = Coeficiente de segurança de acordo com a NBR 8400: 1,5

M_f = Momento fletor máximo (N.m)

(3)

$$T_{\text{máx}} = M_f * \frac{Y}{I} \leq \frac{T_e}{c} = T_{\text{adm}}$$

$$T_{\text{máx}} = 97618,13 \text{ N.m} * \frac{0,201 \text{ m}}{18734 \text{ cm}^4} \leq \frac{350 \text{ MPa}}{1,5} = T_{\text{adm}}$$

$$\mathbf{T_{\text{máx}} = 105 \text{ MPa} \leq 234 \text{ MPa} = T_{\text{adm}}}$$

O uso da ferramenta *Solidworks simulationxpress* auxilia na visualização do comportamento e das reações da viga da ponte com a aplicação da carga acima descrita. O Anexo B apresenta os resultados deste estudo.

4.3.2.2 Dimensionamento da cabeçeira

Para dimensionamento da viga da cabeçeira temos que o máximo momento fletor ocorre na mesma quando a talha carregada esta deslocada para a extremidade da viga principal, gerando uma carga de 64998,6 N sobre o centro da viga da cabeçeira. O diagrama da Figura 16 demonstra o carregamento na cabeçeira com 1,5 metros de comprimento, sendo que os apoios, ou seja, as rodas de translação estão localizadas a 0,6 metros da aplicação da carga.

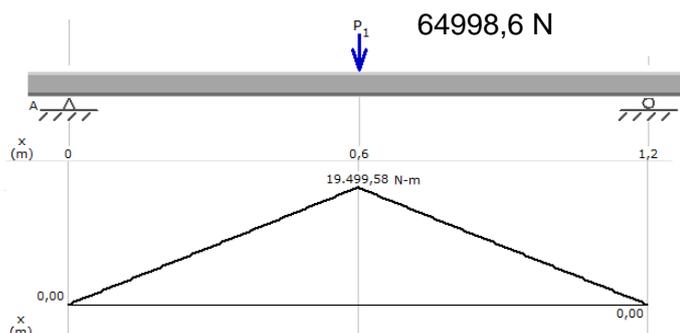


Figura 16: Carregamento na viga da cabeceira.

De acordo com a Figura 16 o momento máximo para o carregamento é de 19499,58 $N.m$. Sendo assim a próxima etapa é a determinação do momento de inércia através da Equação 4.

(4)

$$I = \frac{P * L^3}{(G * Fadm)} * \frac{1}{48}$$

$$I = \frac{64998,6N * 1,2^3}{(200 GPa * 1,2/800)} * \frac{1}{48}$$

$$I = 779,86 cm^4$$

Realizado o cálculo seleciona-se a viga com um momento de inércia superior ao calculado através da tabela do Anexo A. O perfil escolhido é o W150x22,5 (H) com as dimensões detalhadas no Apêndice C e momento de inércia de 1229 cm^4 . Após a seleção do perfil é feita a verificação quanto às tensões atuantes na viga através da aplicação da Equação 5.

(5)

$$T_{m\acute{a}x} = Mf * \frac{Y}{I} \leq \frac{Te}{c} = Tadm$$

$$T_{m\acute{a}x} = 19449,58 N.m * \frac{0,076m}{1229 cm^4} \leq \frac{350MPa}{1,5} = Tadm$$

$$T_{m\acute{a}x} = 120,5 MPa \leq 234MPa = Tadm$$

O uso da ferramenta *Solidworks simulationxpress* auxilia na visualização do comportamento e das reações da viga da cabeceira com a aplicação da carga acima descrita. O Anexo B apresenta os resultados deste estudo.

4.3.2.3 Dimensionamento do trilho

Para o dimensionamento do trilho admite-se que o maior esforço ocorre quando a talha está posicionada na extremidade da ponte e uma roda do carro de translação posicionada no centro do trilho. O diagrama da Figura 17 demonstra o cálculo do momento máximo da viga do trilho de 6,5 metros de comprimento, sendo que a carga gerada por cada roda de translação na viga é de aproximadamente 35764 N.

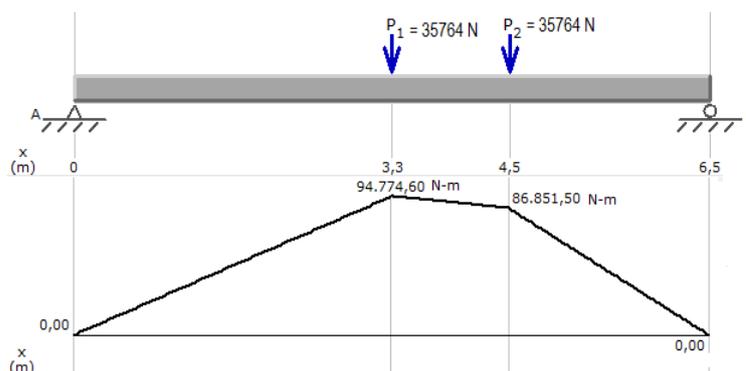


Figura 17: Carregamento na viga do trilho.

Após a determinação do momento máximo na viga a próxima etapa é o cálculo do momento de inércia através da fórmula da Equação 6.

(6)

$$I = \frac{P * L^3}{(G * Fadm)} * \frac{1}{48}$$

$$I = \frac{35764N * 6,5^3}{(200 GPa * 6,5/800)} * \frac{1}{48}$$

$$I = 12592 \text{ cm}^4$$

Com o momento de inércia definido, seleciona-se a viga que atende a solicitação através da tabela do Anexo A. O perfil escolhido é o W360x51 com as dimensões detalhadas no Apêndice C e um momento de inércia igual a 14222 cm⁴. Após a seleção do perfil da viga é feita a verificação quanto às tensões atuantes na mesma através da aplicação da Equação 7, onde a tensão máxima não poderá ultrapassar o valor da tensão admissível.

(7)

$$T_{\text{máx}} = Mf * \frac{Y}{I} \leq \frac{Te}{c} = T_{\text{adm}}$$

$$T_{\text{máx}} = 94774,6 \text{ N.m} * \frac{0,1775 \text{ m}}{14222 \text{ cm}^4} \leq \frac{350 \text{ MPa}}{1,5} = T_{\text{adm}}$$

$$T_{\text{máx}} = 114,07 \text{ MPa} \leq 234 \text{ MPa} = T_{\text{adm}}$$

O uso da ferramenta *Solidworks simulationxpress* auxilia na visualização do comportamento e das reações da viga do trilho com a aplicação da carga acima descrita. O Anexo B apresenta os resultados deste estudo.

4.3.2.4 Dimensionamento da coluna

Para o dimensionamento da viga da coluna da ponte admite-se que o máximo esforço ocorre quando o carro de translação está posiciona exatamente sob a coluna de sustentação, gerando uma carga sobre a mesma de aproximadamente 64202 N, como mostra a Figura 18.

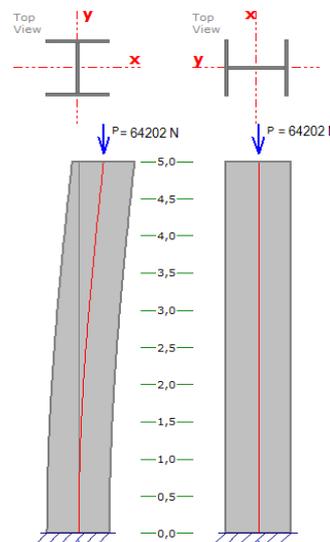


Figura 18: Carregamento na coluna de sustentação

A primeira etapa de cálculo é realizada com a determinação do momento de inércia através da Equação 8, onde:

P_{cr} = Carga crítica de flambagem (N)

I = Momento de inércia (cm^4)

G = Módulo de elasticidade (N/m^2)

K = Fator de comprimento efetivo da coluna, (viga engastada e livre): 2

L = Comprimento da coluna (m)

C = Coeficiente de segurança: 1,5

(8)

$$P_{cr} * C = \frac{\pi^2 * G * I}{K * L^2}$$

$$64202 \text{ N} * 1,5 = \frac{\pi^2 * 200 * 10^9 \text{ N/m}^2 * I}{2 * 5^2}$$

$$I (\text{cm}^4) = 244 \text{ cm}^4$$

Com o momento de inércia definido seleciona-se a viga que atende a solicitação através da tabela do Anexo A tendo como limitante a largura mínima da viga que deve ser de 171 mm. O menor momento de inércia da viga selecionada deve ser superior ao momento de inércia calculado, sendo assim o perfil selecionado é o W200 x 46,1(H) com as dimensões apresentadas no Apêndice C e momento de inércia de 1535 cm^4 .

Após a seleção do perfil da viga é feita a verificação quanto às tensões atuantes na mesma através da aplicação da Equação 9, sendo que a tensão máxima não poderá ultrapassar o valor da tensão admissível, onde:

$T_{m\acute{a}x}$ = Tensão máxima de flambagem (N/m^2)

A = Área da seção transversal da viga: $58,6 \text{ cm}^2$

T_e = Tensão de escoamento (N/m^2)

C = Coeficiente de segurança: 1,5

(9)

$$T_{m\acute{a}x} = \pi^2 * G / (L / \sqrt{\frac{I}{A}})^2 \leq \frac{T_e}{c} = T_{adm}$$

$$T_{m\acute{a}x} = \pi^2 * 200 * 10^9 \text{ N/m}^2 / (5\text{m} / \sqrt{\frac{1535 \text{ cm}^4}{58,6 \text{ cm}^2}})^2 \leq \frac{350 \text{ MPa}}{1,5}$$

$$T_{m\acute{a}x} = 206,8 \text{ MPa} \leq 234 \text{ MPa} = T_{adm}$$

O uso da ferramenta *Solidworks simulationxpress* auxilia na visualização do comportamento e das reações da viga da coluna com a aplicação da carga acima descrita. O Anexo B apresenta os resultados deste estudo.

4.3.2.5 Dimensionamento dos motorreductores de translação da ponte

Para o dimensionamento dos motorreductores que realizam o movimento de translação do conjunto da ponte sobre os trilhos utilizam-se as fórmulas disponíveis na NBR 8400. Considerando a velocidade de translação da ponte igual a 0,5 m/s (requisito de projeto) e o fator de resistência ao rolamento de 0,007 (NBR 8400) definido em função do material da roda tem-se a força de resistência ao rolamento e a potência necessária de cada motorreductor, de acordo com as Equações 10 e 11, onde:

Fr = Resistência ao rolamento

Ft = Carga total sobre as rodas

C = Fator de resistência ao rolamento

P = Potência necessária para realizar o rolamento

V = Velocidade de movimentação com carga (CV)

n = Rendimento

(10)

$$Fr = Ft * C$$

$$Fr = 70000N * 0,007$$

$$Fr = 490 N$$

(11)

$$P = \frac{Fr * V}{n}$$

$$P = \frac{490N * 0,5 m/s}{0,7}$$

$$P = 0,350 KW \approx 0,5 CV$$

Os motorreductores selecionados devem ser do tipo síncrono, realizando o movimento de translação em sintonia e evitando problemas no funcionamento e a danificação do equipamento.

4.3.3 Verificação de erros e fatores de perturbação

Nesta etapa realizou-se a verificação de erros e fatores de perturbação através da aplicação da lista de verificação (Quadro 16) proposta por Reis (2003).

TÍTULO	QUESTÃO	RESPOSTAS
Função	A função estipulada é cumprida?	SIM
Princípio de solução	Os princípios de solução escolhidos produzem as vantagens e os efeitos desejados?	SIM
Leiaute	A escolha do leiaute geral, das formas dos componentes, material e dimensões produzem: durabilidade adequada (resistência), deformação permissível (rigidez) estabilidade adequada, ausência de ressonância, espaço pra expansão, desgaste e corrosão compatíveis com a vida útil e as cargas estipuladas?	SIM
Segurança	Foram considerados todos os fatores afetando a segurança dos componentes, da função, da operação e do ambiente?	SIM
Ergonomia	Foram consideradas as relações homem máquina?	SIM
	Prestou-se atenção à estética?	SIM
Produção	Houve uma análise econômica e tecnológica dos processos de produção?	SIM
Controle de qualidade	As verificações necessárias podem ser aplicadas durante e após a produção ou a qualquer outro momento?	SIM
	Elas foram especificadas?	SIM
Operação	Foram considerados todos os fatores de operação como ruídos, vibração e manuseio?	SIM
Manutenção	A manutenção, a inspeção e a revisão podem ser realizadas e verificadas?	SIM
Custos	Foram observados os limites de custos?	SIM
Cronograma	As datas de entrega poderão ser cumpridas?	SIM

Quadro 16 - Lista de verificação de erros e fatores de perturbação.

Após a aplicação das listas de verificação sem encontrar erros e fatores de perturbação a próxima tarefa é a apresentação do leiaute definitivo bem como as especificações de todas as partes do equipamento.

O leiaute definitivo do equipamento é apresentado no Apêndice C com todas as partes e suas respectivas dimensões. Juntamente com o leiaute definitivo apresenta-se nos Quadros 17 e 18 a lista das partes que compõem o equipamento.

COMPONENTES FABRICADOS PELA EMPRESA				
CONJ.	DESCRIÇÃO DO CONJUNTO	ESPECIFICAÇÃO	DIMENSÕES (mm)	QDT
1	Trilho da extremidade	Viga SAE 1020 W360 x 51	6500	4
1.2	Guia do trilho da extremidade	Chapa SAE 1020 3/4"	6345 x 50	4
2	Cabeçeira do trilho	Viga SAE 1020 W200 x 15	5771	2
3	Coluna da extremidade	Viga SAE 1020 W200x46,1	5000	4
3.1	Fechamento das colunas	Chapa SAE 1020 1/2"	203x203	10
3.2	Chapa de base das colunas	Chapa SAE 1020 3/4"	350x350	10
3.3	Nervura base das colunas (Detalhes Apêndice C)	Chapa SAE 1020 1/4"	APÊNDICE C	80
6	Coluna central	Viga SAE 1020 W200x46,1	5000	6
7	Trilho central	Viga SAE 1020 W360 x 51	6500	4
7.1	Guia do trilho central	Chapa SAE 1020 3/4"	6500x50	4
4	Travamento frontal	Viga SAE 1020 W150x13	1300	4
4.1	Fechamento inferior do travamento frontal	Chapa SAE 1020 1/2"	209,3x171	4
4.1	Fechamento superior do travamento frontal	Chapa SAE 1020 1/2"	209,3x100	4
5	Travamento lateral	Viga SAE 1020 W150x13	1000	16
5.1	Fechamento inferior do travamento lateral	Chapa SAE 1020 1/2"	209,3x203	16
5.2	Fechamento superior do travamento lateral	Chapa SAE 1020 1/2"	209,3x171	16
8	Conjunto da ponte			
8.1	Travamento da ponte (Detalhes Apêndice C)	Chapa SAE 1020 1/2"	APÊNDICE C	4
8.1.1	Base do travamento da ponte	Chapa SAE 1020 1/4"	411,5x152	4
8.2	Viga da ponte	Viga SAE 1020 W410x53	5700	1
8.3	Cabeçeira	Viga SAE 1020 W150x22,5	1500	2

Quadro 17 - Lista de materiais fabricados.

COMPONENTES COMPRADOS			
COMPONENTE	ESPECIFICAÇÃO	MARCA	QDT
Bloco de rodas motores	STHAL SR-E 250.9R/L	STHAL	2
Bloco de rodas movidos	STHAL SR-S 250.3R/L	STHAL	2
Motorreductor de translação	Sincrono de 0,5 CV		2
Parafuso Sextavado Rosca Métrica Total	ISO 4018 - M12 x 30		24
Porcas Sextavadas Métricas	ISO - 7417 - M12		24
Parafuso Sextavado Rosca Métrica Total	ISO 4018 - M16 x 35		40
Porcas Sextavadas Métricas	ISO - 7417 - M16		40
Parafuso Sextavado Rosca Métrica Total	ISO 4018 - M16 x 45		216
Porcas Sextavadas Métricas	ISO -7417 - M16		216
Talha elétrica	TCS050N08	TCS	1
Trole elétrico	TCS-CTE-03-MF	TCS	1

Quadro 18 - Lista de materiais comprados

Os componentes comprados especificados no Quadro 18 são escolhidos baseando-se nas condições de operação e características do equipamento. Deste modo, caso se opte por um componente de outra marca ou com especificações diferentes daqueles descritas, é necessário uma avaliação criteriosa das características de funcionamento e especificações do mesmo de acordo com aplicação.

4.3.4 Revisão do projeto

Nesta etapa de projeto, verifica-se se o produto atende as especificações para que possa cumprir a função para a qual foi projetado. O Quadro 19 apresenta a verificação com base nas especificações do projeto, onde apenas um dos requisitos não foi atendido.

REQUISITO		VALOR META	VALOR	ATENDE
1	Custo de fabricação	< R\$ 80.000,00	R\$ 78.000,00	Sim
2	Atender a normas aplicáveis	100%	100%	Sim
3	Fabricação com recursos disponíveis	100%	100 %	Sim
4	Atender as normas de segurança	100%	100%	Sim
5	Suportar as solicitações	≥ 5 Toneladas	5 Toneladas	Sim
6	Peças s/ necessidade máq. especiais	100%	100 %	Sim
7	Transportar a velocidade desejada	Translação ≤ 0,5 m/s Elevação ≤ 0,1 m/s	Translação 0,5 m/s Elevação 0,07 m/s	Sim
8	Materiais de baixo custo	< 8,00 R\$/kg	8,00 R\$/kg	Sim
9	Custo de manutenção	< R\$ 100 / mês	R\$ 100/mês	Sim
10	Materiais padronizados	80%	100 %	Sim
11	Período entre manutenções (MTBF)	> 6 meses	> 6 meses	Sim
12	Peças sofisticadas padrão	100%	100%	Sim
13	Tolerâncias classe média	IT8	IT8	Sim
14	Montagem com recursos disponíveis	100%	100 %	Sim
15	Direções de transporte	≥ 2	3	Sim
16	Instalação na rede local	220 V	220V	Sim
17	Manutenção simples	<2 h	< 2h	Sim
18	Vida útil	> 15 anos	15 anos	Sim
19	Altura de levante	>4,5 e < 5 m	5 m	Sim
20	Controle com poucos comandos	≤ 2	3	Não
21	Distância de deslocamento	L. ≥ 24 m T. ≤ 5 m	L. =25 m T.=4,7 m	Sim
22	Tempo de desmontagem	< 2 dias	2 dias	Sim
23	Custo de operação	< R\$ 2,00 /h	R\$ 2,00 / h	Sim
24	Peso/volume total da máquina	< 7,9 Tonel./m ³	6,9 Tonel/m ³	Sim
25	Flexibilidade de geometria de cargas	90%	90%	Sim

Quadro 19 - Lista de verificação

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da aplicação de uma metodologia de projeto de produto, foi possível desenvolver o projeto detalhado da máquina de elevação e transporte para atender as necessidades dos clientes. Foi realizada uma análise dos equipamentos existentes onde estes serviram de fonte de inspiração para desenvolver os conceitos aplicados no desenvolvimento do projeto.

As etapas iniciais de projeto permitiram identificar as necessidades dos clientes e posteriormente utilizá-las no desenvolvimento do produto, sendo esta uma das mais importantes etapas dentro do projeto. As ferramentas utilizadas na execução do trabalho, tais como; QFD, diagrama de Mudge, Matriz de decisão, entre outras possibilitaram o refinamento das informações a ponto de eliminar preferências pessoais e destacar a necessidade da empresa.

Por fim, conclui-se que todos os objetivos propostos foram atingidos, sendo que com o estudo também foi possível colocar em prática muitos conceitos aprendidos em sala de aula auxiliando a empresa estudada. É importante ressaltar que este projeto abrange várias áreas de estudo da Engenharia Mecânica, como, resistência dos materiais, máquinas de elevação e transporte, elementos de máquina, mecânica dos sólidos, dentre outras, servindo de base para estudos futuros e aperfeiçoamento das técnicas utilizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8400 - Cálculo de Equipamentos para Levantamento e Movimentação de Cargas**, São Paulo, 1984.

AMARAL, D. C. *et al.* **Gestão de desenvolvimento de produtos: Uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

BACK, N. *et al.* **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, São Paulo: Manole, 2008.

BRASIL, H. V. **Máquinas de Levantamento**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A. 1985.

CMAA 70/83, **Specification for Electric Overhead Traveling Cranes**. *Association of Iron and Steel Engineers (AISE)*, *Pittsburg*, 1983.

FONSECA, A. J. H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional**. Florianópolis, 2000. 180p. Tese (Doutorado), PPGEM – UFSC, 2000.

FONSECA, F. E. A. **Proposta de um quadro referencial para o desenvolvimento de um sistema de medição desempenho para a gestão do ciclo de vida de produtos**. 2010. 238p. Dissertação de (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

FORCELLINI, F. A. **Desenvolvimento de produtos e sua importância para a competitividade**. 122 p. Apostila. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Paraná. 2002.

GERDAU. **Tabelas de bitolas**. Disponível em: <<http://www.gerdau.com.br/produtos-e-servicos/produtos-por-aplicacao-detalle-produto.aspx?familia=319>> Acesso em: Out. 2012.

LANGUI, C. A. **Pontes Rolantes - A importância do equipamento nas áreas de produção industrial - Pontes rolantes**. 50p. Monografia (MBA em Gerência Empresarial) - Departamento de Economia, Contabilidade, Administração e Secretariado, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2001.

NASSAR, W. R. **Apostila de Máquinas de Elevação e Transporte**. Universidade de Santa Cecília - São Paulo. 2004.

PAHL, G. *et al.* **Projeto na engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. Tradução de Hans Andreas Werner; Revisão Nazem Nascimento. - São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

PASSOS, L. C. **Apostila: Técnicas de instalação, operação, manutenção, testes e inspeção: pontes rolantes, guindastes giratórios e acessórios de movimentação de cargas**. Make Engenharia, Acessoria e Desenvolvimento. 2011.

REIS, A. V. **Desenvolvimento de concepção para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas**. Florianópolis. 2003. Tese – PPGEM – UFSC, 2003.

ROMANO, L. N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas.** Florianópolis, 2003. 226p. Tese (Doutorado). PPGEM – UFSC, 2003.

RUDENKO, N. **Máquinas de Elevação e Transporte.** Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, Editora S.A. Tradutor: João Plaza. 1976.

TAMASAUSKAS, A. **Metodologia do Projeto Básico de Equipamento de Manuseio e Transporte de Cargas – Ponte Rolante – Aplicação não siderúrgica.** 2000. Dissertação de mestrado - Escola Politécnica de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica, São Paulo, 2000.

APÊNDICE A – Questionário de levantamento das necessidades dos clientes

QUESTIONÁRIO	
Objetivo	Conhecer os desejos dos clientes com relação às características do produto a ser projetado
1	Quais características são desejáveis na máquina?
2	Qual a mínima configuração do equipamento?
3	Qual a necessidade da empresa?
4	Quais fatores devem ser considerados no projeto?

Quadro 20 - Questionário de levantamento das necessidades dos clientes.

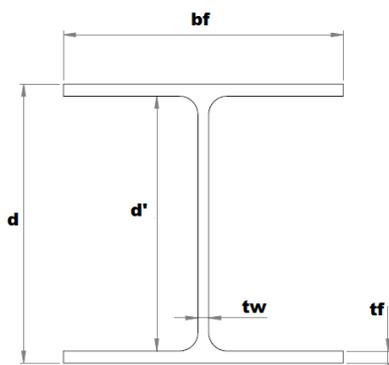
APÊNDICE B – Questionário de avaliação passa / não passa

QUESTIONÁRIO	
1	A concepção representa ser um projeto simples?
2	A concepção é de fácil fabricação?
3	A concepção terá baixo custo de fabricação?
4	A concepção possui componentes comerciais?
5	A concepção é possível de fabricação pela empresa?
6	É desmontável?
7	É de fácil montagem?
8	O equipamento é de fácil operação?
9	A concepção proporciona segurança?
10	A concepção é confiável?
11	A concepção é de fácil manutenção?
12	A concepção apresenta baixo custo de manutenção?
13	O equipamento apresenta pouca manutenção?
14	A concepção apresenta vida útil adequada?

Quadro 21 - Questionário de avaliação passa/não passa.

APÊNDICE C – Detalhamento do leiaute definitivo

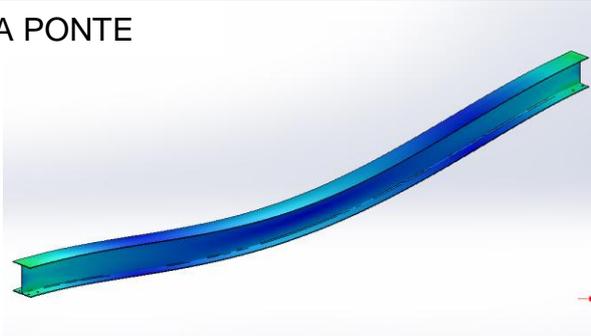
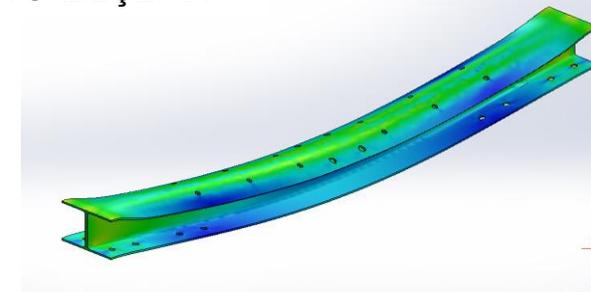
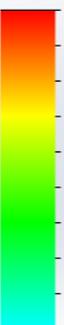
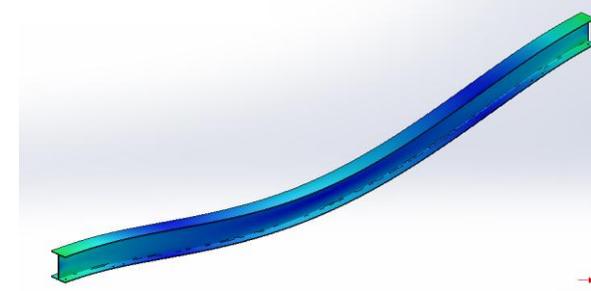
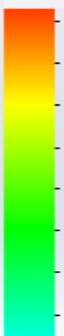
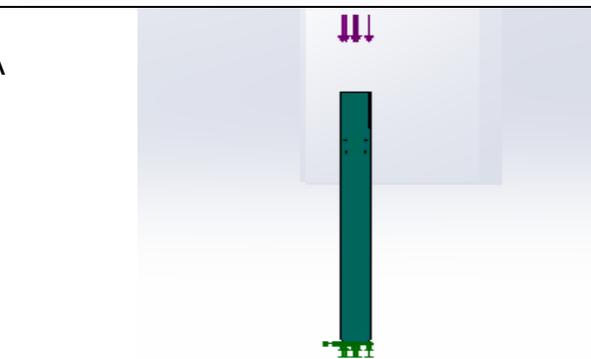
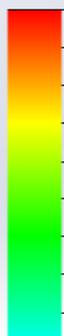
ANEXO A – Tabela de seleção de perfis



BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _t mm	ESPESSURA			h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y			
				t _w mm	t _f mm	t _a mm				I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm	Z _y cm ³
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1.229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1.384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1.739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2.244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1.305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1.686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2.029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2.611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3.168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3.437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4.114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4.543	447,6	8,81	495,3	1.535	151,2	5,12	229,5	
HP 250 x 62,0 (H)	62,0	246	256	10,5	10,7	225	201	79,6	8.728	709,6	10,47	790,5	2.995	234,0	6,13	357,8	
W 250 x 73,0 (H)	73,0	253	254	8,6	14,2	225	201	92,7	11.257	889,9	11,02	983,3	3.880	305,5	6,47	463,1	
W 250 x 80,0 (H)	80,0	256	255	9,4	15,6	225	201	101,9	12.550	980,5	11,10	1.088,7	4.313	338,3	6,51	513,1	
HP 250 x 85,0 (H)	85,0	254	260	14,4	14,4	225	201	108,5	12.280	966,9	10,64	1.093,2	4.225	325,0	6,24	499,6	
W 250 x 89,0 (H)	89,0	260	256	10,7	17,3	225	201	113,9	14.237	1.095,1	11,18	1.224,4	4.841	378,2	6,52	574,3	
W 250 x 101,0 (H)	101,0	264	257	11,9	19,6	225	201	128,7	16.352	1.238,8	11,27	1.395,0	5.549	431,8	6,57	656,3	
W 250 x 115,0 (H)	115,0	269	259	13,5	22,1	225	201	146,1	18.920	1.406,7	11,38	1.597,4	6.405	494,6	6,62	752,7	
W 310 x 21,0	21,0	303	101	5,1	5,7	292	272	27,2	3.776	249,2	11,77	291,9	98	19,5	1,90	31,4	
W 310 x 23,8	23,8	305	101	5,6	6,7	292	272	30,7	4.346	285,0	11,89	333,2	116	22,9	1,94	36,9	
W 310 x 28,3	28,3	309	102	6,0	8,9	291	271	36,5	5.500	356,0	12,28	412,0	158	31,0	2,08	49,4	
W 310 x 32,7	32,7	313	102	6,6	10,8	291	271	42,1	6.570	419,8	12,49	485,3	192	37,6	2,13	59,8	
W 310 x 38,7	38,7	310	165	5,8	9,7	291	271	49,7	8.581	553,6	13,14	615,4	727	88,1	3,82	134,9	
W 310 x 44,5	44,5	313	166	6,6	11,2	291	271	57,2	9.997	638,8	13,22	712,8	855	103,0	3,87	158,0	
W 310 x 52,0	52,0	317	167	7,6	13,2	291	271	67,0	11.909	751,4	13,33	842,5	1.026	122,9	3,91	188,8	
HP 310 x 79,0 (H)	79,0	299	306	11,0	11,0	277	245	100,0	16.316	1.091,3	12,77	1.210,1	5.258	343,7	7,25	525,4	
HP 310 x 93,0 (H)	93,0	303	308	13,1	13,1	277	245	119,2	19.682	1.299,1	12,85	1.450,3	6.387	414,7	7,32	635,5	
W 310 x 97,0 (H)	97,0	308	305	9,9	15,4	277	245	123,6	22.284	1.447,0	13,43	1.594,2	7.286	477,8	7,68	725,0	
W 310 x 107,0 (H)	107,0	311	306	10,9	17,0	277	245	136,4	24.839	1.597,3	13,49	1.768,2	8.123	530,9	7,72	806,1	
HP 310 x 110,0 (H)	110,0	308	310	15,4	15,5	277	245	141,0	23.703	1.539,1	12,97	1.730,6	7.707	497,3	7,39	763,7	
W 310 x 117,0 (H)	117,0	314	307	11,9	18,7	277	245	149,9	27.563	1.755,6	13,56	1.952,6	9.024	587,9	7,76	893,1	
HP 310 x 125,0 (H)	125,0	312	312	17,4	17,4	277	245	159,0	27.076	1.735,6	13,05	1.963,3	8.823	565,6	7,45	870,6	
W 360 x 32,9	32,9	349	127	5,8	8,5	332	308	42,1	8.358	479,0	14,09	547,6	291	45,9	2,63	72,0	
W 360 x 39,0	39,0	353	128	6,5	10,7	332	308	50,2	10.331	585,3	14,35	667,7	375	58,6	2,73	91,9	
W 360 x 44,0	44,0	352	171	6,9	9,8	332	308	57,7	12.258	696,5	14,58	784,3	818	95,7	3,77	148,0	
W 360 x 51,0	51,0	355	171	7,2	11,6	332	308	64,8	14.222	801,2	14,81	899,5	968	113,3	3,87	174,7	
W 360 x 72,0	72,0	350	204	8,6	15,1	320	288	91,3	20.169	1.152,5	14,86	1.285,9	2.140	209,8	4,84	321,8	
W 360 x 79,0	79,0	354	205	9,4	16,8	320	288	101,2	22.713	1.283,2	14,98	1.437,0	2.416	235,7	4,89	361,9	
W 360 x 91,0 (H)	91,0	353	254	9,5	16,4	320	288	115,9	26.755	1.515,9	15,19	1.680,1	4.483	353,0	6,22	538,1	
W 360 x 101,0 (H)	101,0	357	255	10,5	18,3	320	288	129,5	30.279	1.696,3	15,29	1.888,9	5.063	397,1	6,25	606,1	
W 360 x 110,0 (H)	110,0	360	256	11,4	19,9	320	288	140,6	33.155	1.841,9	15,36	2.059,3	5.570	435,2	6,29	664,5	
W 360 x 122,0 (H)	122,0	363	257	13,0	21,7	320	288	155,3	36.599	2.016,5	15,35	2.269,8	6.147	478,4	6,29	732,4	
W 410 x 38,8	38,8	399	140	6,4	8,8	381	357	50,3	12.777	640,5	15,94	736,8	404	57,7	2,83	90,9	
W 410 x 46,1	46,1	403	140	7,0	11,2	381	357	59,2	15.690	778,7	16,27	891,1	514	73,4	2,95	115,2	
W 410 x 53,0	53,0	403	177	7,5	10,9	381	357	68,4	18.734	929,7	16,55	1.052,2	1.009	114,0	3,84	176,9	

Fonte: Adaptado de Gerdau, 2012.

ANEXO B – Análise de tensões através do *solidworks simulation express*

COMPONENTE ANALISADO	TENSÃO MÁXIMA ATUANTE (MPa)
<p>VIGA DA PONTE</p> 	 <p>93.313 85.546 77.779 70.013 62.246 54.480 46.713 38.947 31.180 23.414</p>
<p>VIGA DA CABEÇEIRA</p> 	 <p>103.878 95.239 86.600 77.962 69.323 60.685 52.046 43.407 34.769 26.130</p>
<p>TRILHO</p> 	 <p>106.953 97.248 87.543 77.838 68.133 58.429 48.724 39.019 29.314</p>
<p>COLUNA</p> 	 <p>94.820 87.847 80.874 73.901 66.929 59.956 52.983 46.010 39.038 32.065</p>

Quadro 22 - Análise tensões.