



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

WILLIAM JHONATAN LOPES BEZERRA

DESENVOLVIMENTO DE UM CUBO DE RODA PARA UM PROTÓTIPO OFF-ROAD

WILLIAM JHONATAN LOPES BEZERRA

DESENVOLVIMENTO DE UM CUBO DE RODA PARA UM PROTÓTIPO OFF-ROAD

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Fabricio José Nobrega Cavalcante

MOSSORÓ- RN

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B574d Bezerra, William Jhonatan Lopes.
Desenvolvimento de um cubo de roda para um
protótipo off-road / William Jhonatan Lopes
Bezerra. - 2019.
52 f. : il.

Orientador: Fabricio José Nobrega Cavalcante.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2019.

1. metodologia de projeto. 2. baja. 3. Pahl &
Beitz. I. Cavalcante, Fabricio José Nobrega ,
orient. II. Título.

orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

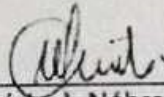
WILLIAM JHONATAN LOPES BEZERRA

DESENVOLVIMENTO DE UM CUBO DE RODA PARA UM PROTÓTIPO OFF-ROAD

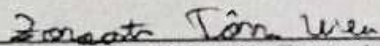
Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, campus Mossoró, para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

APROVADA EM: 20/03/2019

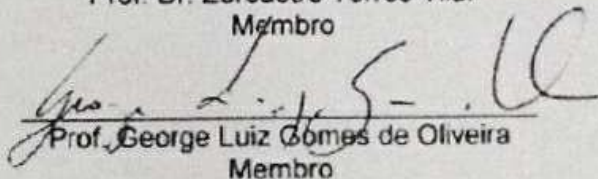
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Fabrício J. Nóbrega Cavalcante
Presidente



Prof. Dr. Zoroastro Torres Vilar
Membro



Prof. George Luiz Gomes de Oliveira
Membro

RESUMO

O trabalho apresenta um estudo acerca da metodologia de projeto utilizada para a concepção de um cubo de roda, sendo este um componente de suspensão de um protótipo de veículo off-road, responsável por permitir o movimento de rotação da roda, ligando a ponta de eixo (componente sem rotação) a roda (componente com rotação), tal componente é um dos principais por absorver os impactos da suspensão em caso de salto e colisões frontais assim como as reações das forças laterais. Serão analisadas assim, as fases de projeto no que se refere à busca por soluções, as possíveis soluções foram avaliadas quanto as suas respectivas características técnicas como: resistência, massa, manufatura. Sendo necessária, uma avaliação geral, a fim de definir a melhor opção, onde serão levados em consideração os requisitos obrigatórios e desejados para o componente, em estudo, aplicado em um veículo de competição.

Palavras-chaves: Metodologia de projeto. Baja. Pahl & Beitz.

ABSTRACT

The work presents a study about the design methodology used for the design of a wheel hub, this being a suspension component of an off-road vehicle prototype, responsible for allowing the rotation of the wheel, connecting the shaft tip (component without rotation) to the wheel (component with rotation), such component is one of the main to absorb the impacts of the suspension in case of jump and frontal collisions as well as reactions of lateral forces. In this way, the design phases of the search for solutions will be analyzed. The possible solutions were evaluated for their respective technical characteristics such as: resistance, mass, manufacturing. A general assessment is necessary in order to define the best option, where the mandatory and desired requirements for the component under study in a competition vehicle will be taken into account.

Keywords: Project methodology. Baja. Pahl & Beitz.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Etapas de projeto	14
Figura 2-Modelo criado por Asimov	23
Figura 3-Modelo criado por Coryell.....	25
Figura 4-Modelo criado por Pahl & Beitz	30
Figura 5- Matriz QFD	34
Figura 6-Estrutura da função.....	36
Figura 7- Solução 1	39
Figura 8- Solução 2	40
Figura 9- Solução 3.....	41
Figura 10- Atributos avaliados e seus determinados pesos.....	42
Figura 11-Dimensões do rolamento 16002.....	43
Figura 12- Dimensões do rolamento 61904.....	43
Figura 13-Capacidades de carregamento do rolamento 16002	44
Figura 14-Capacidades de carregamento do rolamento 61904	44
Figura 15-Seção transversal	45
Figura 16-Simulação estática	46
Figura 17-Resultado da simulação da fadiga. Vista 1.....	49
Figura 18-Resultado da simulação da fadiga. Vista 2.....	49
Figura 19- Desenho técnico.....	50
Figura 20- Renderização do componente final	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Comparação entre os fatores de segurança	32
Tabela 2- Requisitos obrigatórios e desejáveis	35
Tabela 3-Princípios de solução.....	37
Tabela 4-Matriz de escolha do material.....	37
Tabela 5- Fixação.....	37
Tabela 6- Valores de A e b para cada acabamento superficial.....	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVOS GERAIS	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3.1 CUBO DE RODA	13
3.2 FADIGA	13
3.3 PROJETO	14
3.2 METODOLOGIA PARA PROJETO DE PRODUTO.....	16
3.2.1 Projeto informacional.....	16
3.2.1.1 Pesquisar informações sobre o tema do projeto	16
3.2.1.2 Identificar as necessidades dos clientes do projeto	17
3.2.1.3 Estabelecer os requisitos dos clientes.....	17
3.2.1.4 Estabelecer os requisitos de projeto.....	17
3.2.1.5 Hierarquizar os requisitos de projeto.....	18
3.2.2 Projeto conceitual	18
3.2.2.1 Verificar o escopo do problema.....	19
3.2.2.2 Estabelecer a estrutura funcional.....	19
3.2.2.3 Pesquisar por princípios de solução.....	19
3.2.2.4 Combinar princípios de solução	19
3.2.2.6 Evoluir em variantes de concepção	20
3.2.2.7 Avaliar concepções.....	20
3.2.3 Projeto preliminar	20
3.2.4 Projeto detalhado.....	21
3.2.4.1 Elaborar leiautes preliminares e desenhos de formas.....	21
3.2.4.2 Elaborar leiautes detalhados e desenhos de forma	22
3.2.4.3 Finalizar verificações.....	22
3.2.4.4 Revisar o projeto.....	22
3.3 MEDOTOLOGIA DE PROJETO	23
3.3.1. Metodologia de projeto para Asimov.....	23
3.3.2. Metodologia de projeto para Coryell.....	24
3.3.2.1 Brainstorming	27
3.3.3 Metodologia de projeto segundo Pahl & Beitz.....	29

4 PROJETO DE UM CUBO DE RODA SEGUINDO A METODOLOGIA DE PAHL & BEITZ	32
4.1. DEFINIÇÃO DE TAREFA.....	32
4.1.1 Definição de tarefa.....	32
4.1.2 Matriz QFD	33
4.1.3 Especificações.....	35
4.2 CONCEPÇÃO	35
4.2.1 Identificação dos problemas iniciais	35
4.2.2 Estrutura da função.....	35
4.2.3 Busca pelos princípios de solução.....	36
4.2.4 Avaliação baseada nos critérios técnicos e econômicos.....	37
4.2.4 Brainstorming	38
4.2.4.1 Brainstorming realizado	38
4.2.5 Avaliação das alternativas pela listagem de atributos	42
4.3. PROJETO DETALHADO	43
4.3.1 Seleção dos rolamentos.....	43
4.3.2 Dimensionamento do braço de fixação na roda	44
4.3.2 Simulação estática.....	45
4.3.2 Análise de fadiga	46
4.3.2 Simulação de fadiga.....	48
4.3.2 Desenho técnico.....	50
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

Entre os anos 1980 e 1990, importantes projetos de pesquisa foram desenvolvidos a respeito da manufatura enxuta, e a gestão do processo de desenvolvimento de produto. Estes primeiros, puramente analíticos, geraram muitos conceitos que têm uma gama de aplicações mais ampla que uma abordagem específica sendo empregados por grande parte das pessoas que estudam e trabalham com o desenvolvimento de produto (DANTAS, 2010).

Metodologia de projeto, tem por função, ajudar a organizar um problema que não está estruturado com o propósito de facilitar a busca por soluções de problemas vagamente definidos ou com diversas soluções existentes. Existem modelos de metodologias gerais nos quais são trabalhados para que se apliquem a um problema específico, alguns destes modelos, são resumidos e outros não, cabendo ao engenheiro projetista definir o modelo a ser utilizado tomando como base o tempo gasto para a realização do projeto e sua otimização bem como sua adequação ao que se necessita. No caso do referido trabalho, será mostrada a aplicação de uma metodologia de projeto para a concepção de um componente de suspensão de um veículo off-road, utilizado pela equipe Cactus baja SAE da UFERSA.

Assim, o estudo visa desenvolver um cubo de roda de um protótipo off-road, sua escolha se deu por dois principais motivos, o primeiro deles a busca pela redução de massa do sistema buscando um melhor desempenho do protótipo, além de uma redução de custo.

O cubo de roda é o componente responsável por permitir o movimento de rotação da roda, ligando a ponta de eixo (componente sem rotação) a roda (componente com rotação), tal componente é um dos principais por absorver os impactos da suspensão em caso de salto e colisões frontais assim como as reações das forças laterais.

Este componente será utilizado no protótipo Cactus Baja 18 (CB18), da equipe Cactus Baja SAE da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), equipe que busca desenvolver um veículo off-road desde a fase de projeto até a fase de testes e assim participar das competições BAJA SAE Nordeste e Brasil. Neste âmbito, o trabalho apresenta o projeto de um cubo de roda, utilizada da suspensão dianteira do protótipo, iniciando pela análise de metodologias a serem aplicadas até a fase final de projeto.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

O trabalho tem como objetivo, projetar um cubo de roda dianteiro para um protótipo de veículo off-road da equipe Cactus Baja que será utilizado durante as competições BAJA SAE Nordeste e Brasil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo deste trabalho foi projetar um cubo de roda dianteiro para um veículo de competição tipo baja, atendendo as necessidades de projeto dos sistemas de suspensão e direção, dentre elas estão a resistência aos impactos sofridos por ser um veículo de competição off-road, aliado a um menor custo e uma menor massa. Tem por objetivo específico o estudo das metodologias de projeto, definição de uma metodologia a ser aplicado, projeto preliminar de um cubo de roda e simulação dos esforços.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CUBO DE RODA

O cubo de roda tem a função de transmitir a movimentação e tração gerada pelo motor para as rodas, dando o suporte do disco de freio, onde são fixados os parafusos das rodas, o cubo de roda dianteiro atua de forma conjunta com as juntas homocinéticas, sendo utilizados por todos os tipos de veículos, sejam eles utilitários, de pequeno ou grande porte. (IMA-Indústria de Auto Peças, 2018).

Na indústria, os cubos de roda são fabricados de forma diferenciada tendo como base os eixos dos veículos, fazendo com o que os modelos de cubo de roda dianteiro não sejam instalados nos eixos traseiros, da mesma forma para os cubos traseiros. (IMA-Indústria de Auto Peças, 2018).

A durabilidade do cubo de roda dianteiro é longa, pois, sua composição é na maior parte de metal, possibilitando o uso de um mesmo cubo de roda durante um longo período sem haver necessidade de manutenções ou até trocas. Além do mais, devido ao seu baixo peso e tamanho, o cubo pode ser instalado sem ferramentas especiais, reduzindo os custos com manutenção e troca desta peça. (IMA-Indústria de Auto Peças, 2018).

3.2 FADIGA

A fadiga é popularmente conhecida por um estado de cansaço, ou seja, um estado que torna difícil suportar determinada solicitação. Em relação a engenharia, fadiga de um material é quando o mesmo recebe uma carga aplicada variável no tempo. Sendo a mesma responsável por 90% das falhas dos componentes metálicos (GARCIA, 2000).

Segundo Norton (2013), o termo fadiga é aplicado quando, de alguma maneira, um material apresenta falha e aparência de uma fratura frágil na superfície dúctil, concluindo que o material apresentou “cansaço” e fragilizou-se devido às oscilações da carga aplicada. De forma resumida, o termo falha por fadiga é utilizado para descrever qualquer falha devido a cargas variantes no tempo.

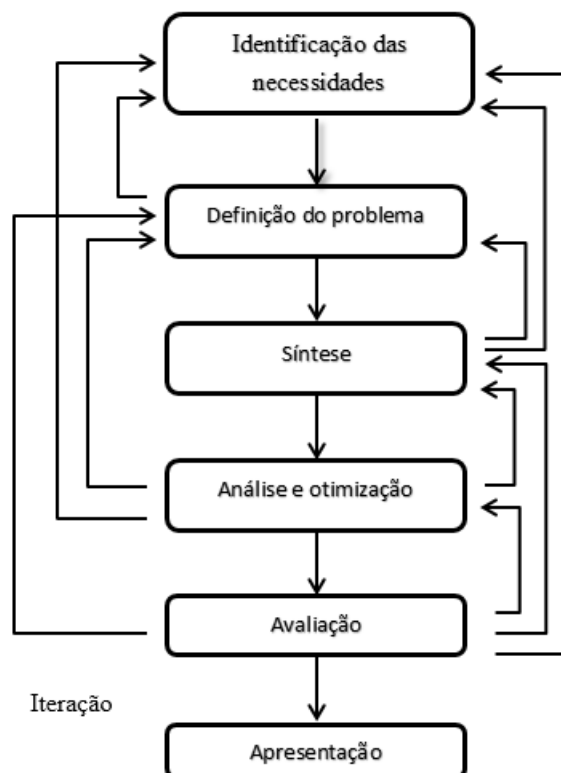
As principais causas do aparecimento de fadiga podem ser citados: a existência de tensão cíclicas ou flutuantes e o número de ciclos de aplicação de tensão suficientemente alto para que ocorram a nucleação e a propagação de uma trinca (MOIA, 2001)

3.3 PROJETO

Segundo Shigley (2005), projetar é formular um plano para satisfazer uma necessidade específica ou para resolver um problema. Se esse plano resulta de criação de algo físico, então este algo, considerado um produto, deve ser funcional, seguro, confiável, competitivo, utilizável, manufaturável e comercializável.

O autor, Shigley (2005), também comenta que o processo de criação de um projeto, deve seguir determinadas etapas, afim de que se mantenha uma linha lógica de criação de um projeto, dependendo da natureza do projeto, desde a identificação da necessidade, passando pelas análises e otimizações, até o produto final. Assim, as etapas a serem seguidas, vem buscar opções para solução do problema e dentre elas, a melhor opção. A Figura 1, ilustra as etapas de metodologia de projeto, conforme Shigley (2005).

Figura 1- Etapas de projeto



Fonte: Adaptado de Shigley (2005).

Como melhor entendimento, a metodologia proposta na Figura 1, pode ser explicada, conforme:

a) Identificação da necessidade: É normalmente o começo do projeto. A identificação da necessidade geralmente vem a partir de um descontentamento ou mal-estar gerado por alguma situação em um determinado momento.

b) Definição do problema: Ao definir o problema, o projetista terá definido algumas especificações e limitações, como exemplo velocidade, espaço disponível, temperatura, peso, resistência à tração.

O projeto também possui especificações e limitações implícitas, como no caso do local onde o produto será fabricado não possuir maquinário adequado e suficiente para determinados métodos de fabricação. Também ocorre do catálogo do fornecedor não possuir materiais ou tamanhos necessários para a fabricação, como também de certo item estar em falta.

c) Síntese: É a etapa onde as ideias sobre funcionamento e design são postas em prática criando assim um produto que deverá ser capaz de solucionar o problema, para que posteriormente este produto seja analisado a fim de aperfeiçoá-lo e torná-lo capaz de solucionar o problema, com um baixo custo, certa facilidade de fabricação, ocupando pouco espaço, entre outras características.

d) Análise e otimização: Nessa fase as ideias (produtos) criadas para solucionar o problema são analisadas, quando após a análise os resultados não são satisfatórios, deve-se modificar o projeto para que passe a ser viável, quando os resultados são satisfatórios, a tentativa é de otimizar o projeto afim de tornar o produto mais competitivo no mercado.

e) Avaliação: A avaliação se trata da escolha da melhor opção dos produtos criados na síntese e todo aprofundamento das análises, como por exemplo, se é algo econômico, se será um bom concorrente dos produtos já existentes no mercado, se será de fácil utilização e manutenção.

f) Apresentação: Esta é uma fase na qual o projetista terá de explicar a forma que seu produto foi desenvolvido para que todos os resultados da sua pesquisa sejam divulgados a fim de repassar o conhecimento adquirido. Nesta fase, o projetista deverá apresentar o seu projeto buscando convencer de que o seu é a melhor opção e que o mesmo deverá receber investimento ou ser comprado.

3.2 METODOLOGIA PARA PROJETO DE PRODUTO

Segundo Norton (2013), a metodologia de projetos é, em sua essência, um exercício de criatividade aplicada. Diversas metodologias de projetos foram elaboradas com o intuito de ajudar, organizar e encarar o problema, quando este não está estruturado, ou seja, quando tal problema possui uma definição vaga e também quando existem muitas soluções. Algumas dessas metodologias elaboradas possuem poucas etapas, já outras, podem chegar a ter 25 etapas, com isso, cabe ao engenheiro projetista definir qual a melhor solução a ser utilizada no decorrer de seu projeto. Assim, alguns passos são seguidos, conforme etapas do projeto.

3.2.1 Projeto informacional

A fase de projeto informacional, tem como finalidade produzir um conjunto de informações mais completa possível, partindo das informações colhidas durante a etapa de planejamento e de pesquisas a cerca de um determinado problema, sendo este conjunto chamado de especificações meta do produto (ROZENFELD, 2006).

Com todas as informações reunidas, no final desta etapa todos os objetivos devem ser estabelecidos, para o projeto final. Tomando como base estes objetivos, são determinadas as características do projeto final, tais como suas funções e suas restrições (FORCELLINI, 2002 apud MICHELS, 2012).

3.2.1.1 Pesquisar informações sobre o tema do projeto

Pelo fato de grande parte dos projetos possuírem componentes mecânicos e divisões de seus sistemas, buscando os ciclos de vida de componentes mecânicos similares é possível determinar o ciclo de vida do produto a ser projetado (REIS apud MICHELS, 2012).

De acordo com FONSECA apud MICHELS (2012), o ciclo de vida do projeto possui cinco fases distintas, sendo elas: projeto, produção, montagem, uso e descarte. A pesquisa de informações sobre o tema do projeto é considerada por Michels (2012) uma fase de grande importância por determinar quem serão os clientes durante todo o ciclo de vida do projeto.

3.2.1.2 Identificar as necessidades dos clientes do projeto

Segundo Reis apud Michels (2012), nesta etapa devem ser levantadas as necessidades dos clientes para cada fase do ciclo de vida do projeto, podendo ser auxiliada por uma pesquisa bibliográfica, questionários aos clientes. Amaral et al apud Michel (2012), atenta para a importância de recorrer aos clientes, pois mesmo que seus desejos possam ser redundantes, os mesmos representam as características do produto.

3.2.1.3 Estabelecer os requisitos dos clientes

Amaral et al apud Michels (2012) diz que os dados coletados por meio de questionários ou pesquisas bibliográficas não devem ser aplicados diretamente no desenvolvimento do produto já que tais dados são coletados de forma subjetiva impossibilitando tal aplicação.

Com as necessidades e desejos dos clientes coletados, os mesmos devem ser listados e tratados para que se tornem dados técnicos, tornando assim possível sua aplicação no desenvolvimento do produto (ROMANO apud MICHELS, 2012).

3.2.1.4 Estabelecer os requisitos de projeto

Os requisitos de projeto são provenientes dos requisitos dos clientes, Amaral et al apud Michels (2012) acredita que os requisitos do projeto são a primeira decisão física tomada acerca do produto.

Fonseca apud Michels (2012) divide as características do projeto em duas famílias, sendo elas: características gerais e específicas. As características gerais são classificadas em características básicas e as de ciclo de vida. As características específicas são referentes ao sistema técnico do produto, elas são divididas em características de materiais, de controle e energético.

3.2.1.5 Hierarquizar os requisitos de projeto

De início deve-se começar aplicando o diagrama de mudge, conforme Romano (2003), a fim de valorizar os requisitos dos clientes e destacar os mais importantes. Destacar os esses requisitos é de fundamental importância para possa ser aplicado o QFD (*Quality Function Deployment*).

Após isto, deve-se ser aplicado o QFD para que se relacionem os requisitos dos clientes com os requisitos do projeto, assim tais requisitos são mensurados para que se tornem características fundamentais na busca de uma maior qualidade (AMARAL et al., 2006).

3.2.1.6 Estabelecer as especificações

De acordo com Forcellini (2002), os requisitos adquiridos através do QFD, ainda não se fazem suficientes para representar os objetivos que deverão ser conquistados, com isso, ele indica associar um valor como uma meta, assim elaborando um quadro de especificações.

Segundo Fonseca (2000), tal quadro de especificação deve associar mais três informações aos requisitos de projeto, sendo estas: Metas a serem atingidas pelos requisitos, descritas quantitativamente; A forma de avaliação das metas para que seu cumprimento esteja garantido; Os aspectos a serem evitados durante a execução dos requisitos.

3.2.2 Projeto conceitual

Para Forcellini (2002), de todo o processo de desenvolvimento, o projeto conceitual é a fase de maior importância tendo em vista que nela serão tomadas decisões que irão influenciar diretamente nas fases seguintes.

Pela ótica de Ferreira apud Michels (2012), tais decisões são tomadas a partir de concepções que por sua vez são geradas a partir de uma necessidade clara de melhoria, para que o produto atenda cada vez melhor tal necessidade, deixando claro que estas concepções são sujeitas a limitação de recursos tanto financeiros como de outras naturezas.

Para Blanchard e Fabrycky apud Ferreira (2000), as decisões tomadas na fase de projeto conceitual, determinam cerca de 60% do custo do produto.

3.2.2.1 Verificar o escopo do problema

Esta etapa, tem como objetivo, executar um estudo de forma a compreender o problema em um plano abstrato, possibilitando uma abertura para melhores soluções (MANTOVANI, apud MICHEL, 2012).

Para Forcellini (2002), tal estudo terá resultado no qual conduzirá a uma melhor solução do problema além de melhorar o entendimento da atividade do projeto, se tornando assim indispensável para a perfeita execução das demais etapas.

3.2.2.2 Estabelecer a estrutura funcional

Segundo Amaral et al apud Michels (2012), estabelecer a estrutura funcional consiste em elaborar uma lista de funções das quais o produto devem possuir, de forma hierárquica e bem estruturada.

Para Forcellini (2002), a elaboração desta lista se dá ao formular o problema de forma abstrata iniciada na etapa anterior sendo assim possível definir uma função geral do sistema finalizando com as funções básicas, caso existam operações simples.

3.2.2.3 Pesquisar por princípios de solução

Utilizando a estrutura funcional proposta anteriormente, deve-se propor a cada função um início de solução, de acordo com Forcellini (2002), para que esta fase seja concluída com êxito o projetista deve possuir um conhecimento detalhado sobre cada função proposta. O mesmo destaca a importância de se obter vários efeitos ou portadores de efeitos físicos a fim de encontrar uma solução otimizada para a execução de cada função.

3.2.2.4 Combinar princípios de solução

Após a obtenção dos inícios de solução para cada função da estrutura funcional, tais princípios de solução devem ser combinados a fim de conseguir atender a função geral do sistema. Pahl et al apud Michels (2012) propõe o emprego de uma matriz morfológica para que sejam estabelecidas as combinações dos princípios de solução.

A matriz é feita de forma a conter as funções, que devem ser satisfeitas, na primeira coluna, já nas linhas correspondentes devem conter os inícios de solução propostos.

3.2.2.5 Selecionar combinações

Reis apud Michels (2012) indica o emprego de métodos sistemáticos de seleção de princípios, para que os riscos de eliminação de uma proposta promissora sejam devidamente minimizados, o mesmo também aconselha a utilização de métodos que se adaptem as poucas informações contidas na etapa anterior.

3.2.2.6 Evoluir em variantes de concepção

Para French apud Michel (2012), nesta etapa as concepções devem estar detalhadas de forma a possibilitar a continuidade do projeto. Com isso, a concepção deve ser desenvolvida a fim de ter fixado cada meio de desempenhar cada uma das principais funções, como também as relações espaciais e estruturais dos principais componentes.

Para o mesmo, a concepção deve ser detalhada de tal forma a permitir o cálculo aproximado de dimensões gerais e peso, para que a exequibilidade possa ser garantida.

3.2.2.7 Avaliar concepções

Nesta fase deve-se escolher a melhor concepção dentre todas as geradas, tal concepção será transformada no produto final. Para que seja escolhida a melhor concepção, Amaral apud Michels (2012) indica o uso de métodos sistemáticos que se adequem a limitação de informações e auxiliem a escolha da concepção.

De acordo com Pahl et al apud Michels (2012), um dos métodos mais utilizados é o método da matriz de decisão que utiliza critérios de avaliação, sendo estes critérios os requisitos dos clientes ou até mesmo as especificações.

3.2.3 Projeto preliminar

Para Romano (2003), a fase de projeto preliminar tem como objetivo obter o detalhamento inicial das concepções do projeto, sendo nesta fase desenvolvidas as atividades

que objetivam elaborar leiautes preliminares e detalhados além dos desenhos de formas do projeto.

Para Machado (1997), antes de dar início ao projeto detalhado, engenheiros capacitados devem realizar estudos detalhados de viabilidade a fim de comprovar dentre outras coisas que o projeto é fisicamente viável e funcional.

Recomenda-se a produção de vários leiautes para que assim sejam analisadas as qualidades de cada leiaute, assim como seus defeitos, atentando as novas sugestões que se possa adicionar ao projeto. O trabalho deve ser em prol do aperfeiçoamento do projeto, não apenas selecionando as qualidades dos requisitos de cada leiaute, mas também utilizando de ideias para melhorar as já consideradas como boa (PAHL E BEITZ, 1996 apud DUFOUR, 1996 apud CASTRO, 2014).

3.2.4 Projeto detalhado

Esta última fase do projeto se destina a aprovação do produto, finalização das especificações técnicas dos componentes, dentre elas as formas, materiais, dimensões, tolerâncias e todas as propriedades das partes individuais do produto. Os documentos necessários para o início da fabricação juntamente com os desenhos são também finalizados nesta fase, destacando as principais atividades desta etapa são a otimização do leiaute juntamente com a otimização dos princípios (DUFOUR, 1996 apud CASTRO, 2014).

Para Ferreira (2000), tanto na etapa de projeto preliminar quanto na etapa de projeto detalhado a concepção do produto deve ser refinada através da seleção de materiais e dos processos de produção, por último, mas não menos importante a deve-se realizar uma estimativa de custo mais refinada, sendo possível estabelecer o custo-meta do produto.

3.2.4.1 Elaborar leiautes preliminares e desenhos de formas

De acordo com Reis apud Michels (2012), esta fase pode ser dividida em 4 fases, sendo elas:

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

3.2.4.2 Elaborar leiautes detalhados e desenhos de forma

Segundo Reis apud Michels (2012), ao executar esta etapa, o projetista deve estar atento à área de domínio do produto além das normas gerais de projeto e produção, deve-se também efetuar cálculos detalhados dos parâmetros envolvidos.

Dando início a esta etapa, deve-se primeiramente definir quais as funções auxiliares essenciais serão necessárias de acordo com a proposta em uso. Tais funções são solucionadas preferencialmente com peças padronizadas ou encontradas em catálogos. (BACK apud MICHELS, 2012)

Para Pahl et al apud Michels (2012), a segunda tarefa desta etapa é integrar as soluções das funções auxiliares no leiaute e nos desenhos de forma de acordo com as regras básicas e todas as diretrizes do projeto em sua obra.

3.2.4.3 Finalizar verificações

Para Mantovani apud Michels (2012), podem ser encontrados pontos fracos ou duvidosos durante o processo de verificação, o que torna necessária a otimização do projeto. Em certos casos pode haver a necessidade de refazer algumas tarefas.

Reis apud Michels (2012), afirma que as principais tarefas desta etapa são:

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

3.2.4.4 Revisar o projeto

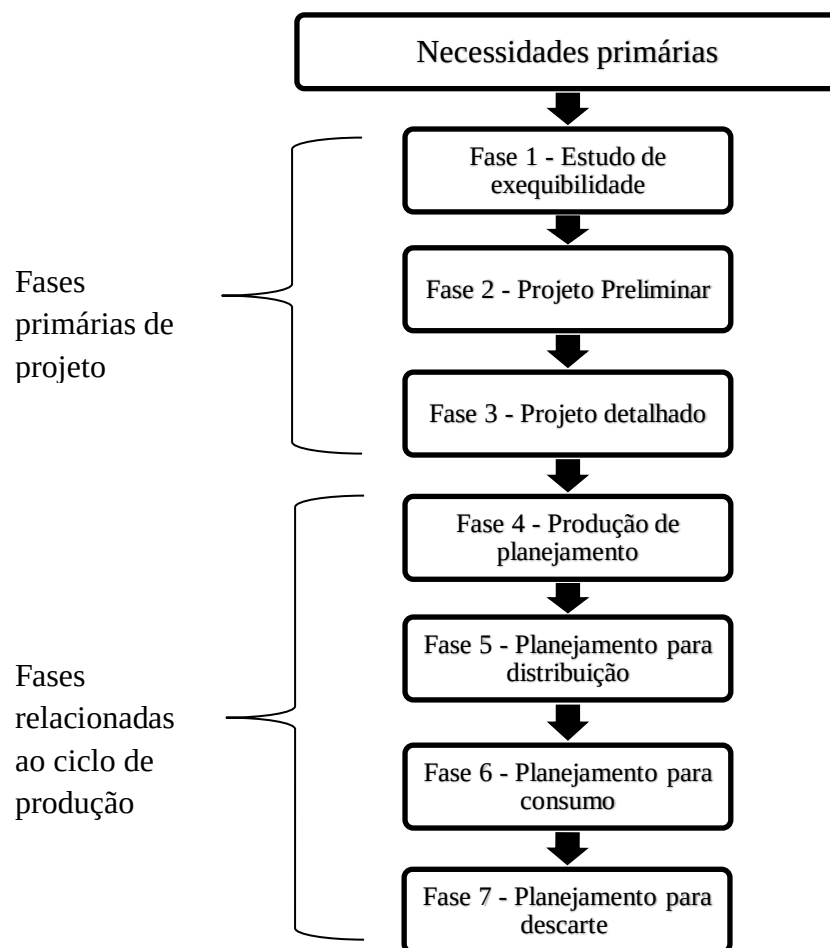
Para Mantovani apud Michels (2012), nesta etapa o projetista deve se preocupar em verificar se o produto atenderá as especificações e normas estabelecidas para que possa cumprir a função primordial do projeto.

3.3 METODOLOGIA DE PROJETO

3.3.1. Metodologia de projeto para Asimov

Sendo um dos primeiros a elaborar uma metodologia de projeto, Asimov priorizou determinar todas as etapas do desenvolvimento do projeto de um produto deixando de lado em muitos momentos o próprio objeto de projeto. Seu trabalho é de grande valor, tanto por ser uma metodologia na qual se aplica a qualquer projeto e em qualquer campo da tecnologia, quanto por ser pioneiro no desenvolvimento de metodologias de projeto. O modelo criado por Asimov (Figura 2) se divide primeiramente em dois grupos distintos, sendo que estes grupos não podem coexistir, ou seja, um não pode ser iniciado em quanto o outro não for totalmente finalizado (FORCELLINI, 2002).

Figura 2-Modelo criado por Asimov



Fonte: Adaptado de Machado, 1997.

O primeiro destes grupos é a fase primária de projeto, esta fase se divide em três outras, sendo a primeira um estudo de exequibilidade, onde o projetista terá de identificar um conjunto de soluções possíveis para o problema, com isso ele deve realizar uma análise das necessidades, realizar a identificação do sistema a ser utilizadas, concepções para o projeto, além disso, também, realizar análises físicas, econômicas e financeiras (FORCELLINI, 2002).

A segunda fase, é o projeto preliminar, onde as concepções resultantes da fase anterior serão analisadas gerando assim uma concepção resultante e promissora. Entre os passos desta fase tem-se a seleção da concepção para o projeto; a formulação de modelos matemáticos; a análise de sensibilidade, compatibilidade e estabilidade; a otimização formal; as projeções futuras; a revisão do comportamento do sistema e a verificação final da concepção do projeto (FORCELLINI, 2002).

A terceira fase é o projeto detalhado, esta fase se dá após o projeto ser concebido na fase anterior, com todas as garantias, teóricas e de modelagens, de que o projeto irá ser um sucesso, dar-se início a fase de projeto detalhado propriamente dita.

Desenvolve-se, então, o leiaute e o relatório final do projeto. Os passos nesta fase são: preparação e projeto geral dos subsistemas; projeto geral dos componentes; preparação dos desenhos de montagem; construção experimental e testes do protótipo; análise e revisão (FORCELLINI, 2002).

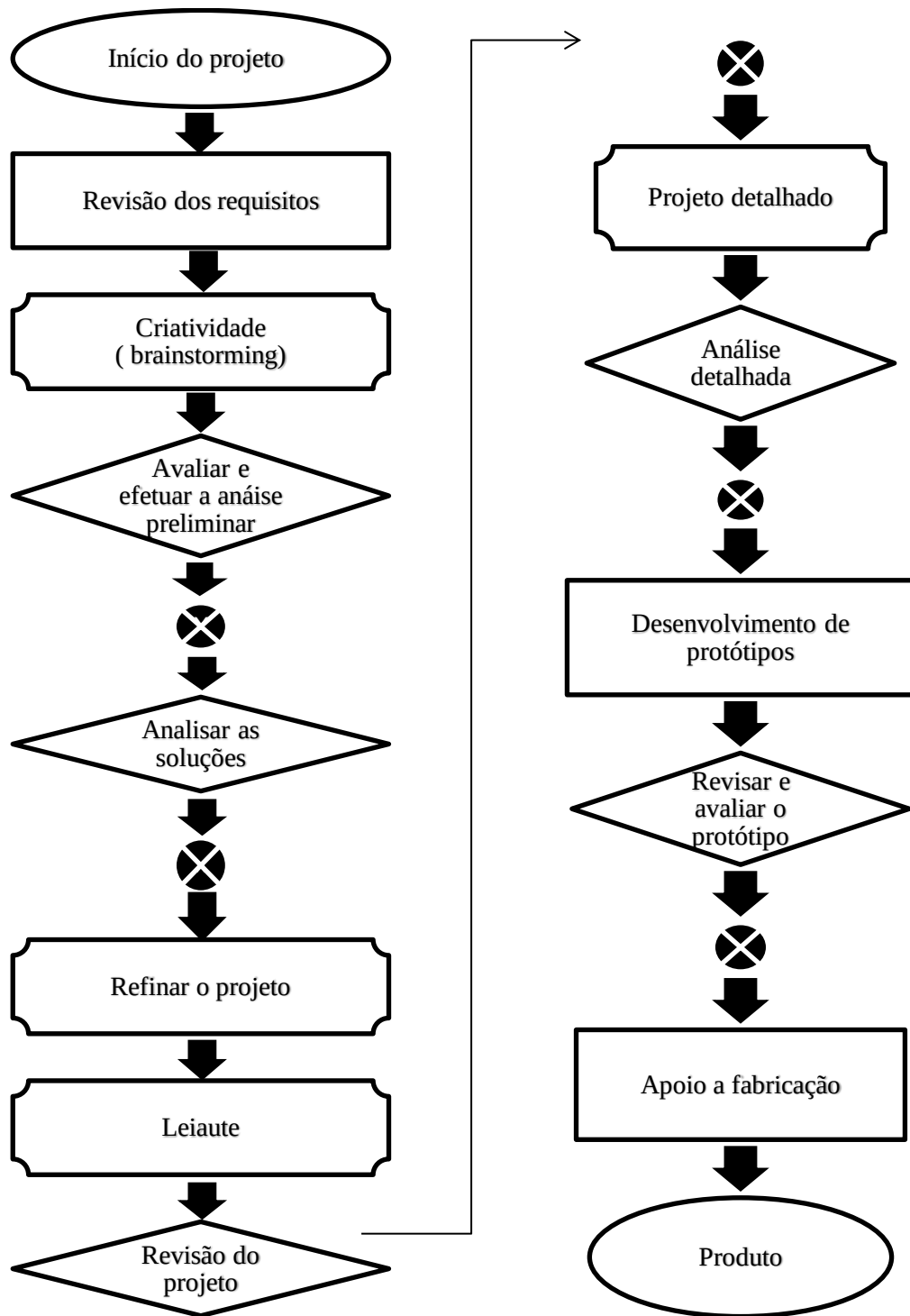
Ao final das fases preliminares de projeto, o produto já está validado e consequentemente aprovado para a função na qual foi projetado, podendo assim seguir para o ciclo de produção.

Segundo Forcellini (2002), as demais fases se dão por tratar dos aspectos relativos ao ciclo de produção e consumo. As fases são: planejamento para a produção; planejamento para a distribuição; planejamento para o consumo; planejamento para a retirada.

3.3.2. Metodologia de projeto para Coryell

Como se pode observar no diagrama na Figura 3, a metodologia de projeto utilizada por Coryell é uma metodologia na qual orienta o projetista a revisar cada etapa de seu projeto minimizando assim o potencial de erro e a perda de tempo, já que o projetista terá uma probabilidade menor de encontrar algum erro no início do projeto estando ele já em fase de conclusão.

Figura 3-Modelo criado por Coryell



Fonte: Adaptado Forcellini, 2002.

A inovação dessa metodologia de projeto, segundo Neis (2013), foi a criação de um fluxograma adicionando cinco novas válvulas entre as etapas a fim de minimizar o acúmulo de

erros, tais válvulas objetivavam promover a análise e a revisão do projeto, indicando ao projetista prosseguir à etapa seguinte após a anterior ter sido finalizada com sucesso.

A etapa 1, chamada de **revisão dos requisitos**, é onde deve ocorrer o completo entendimento e a revisão de todos os requisitos. Pois assim o projetista estará provido com os devidos parâmetros nos quais ele poderá seguir com o projeto facilitando a escolha de um melhor caminho. “Diz-se que um problema adequadamente definido é um problema virtualmente resolvido” (FORCELLINI, 2002, 160 p).

Após a conclusão da primeira etapa, o projetista inicia sua busca pela solução do problema definido, é nesta fase onde pode-se considerar que o projeto realmente se inicia. Esta segunda fase se chama **criatividade**, como método de auxílio desta etapa se destaca o “brainstorming”, mas não como único e sim como um dos diversos métodos utilizados para aquisição de ideias para solução de um mesmo problema, pois se necessita de acumular o maior número de ideias possíveis para que ao término desta etapa, as melhores ideias sejam mais avaliadas e posteriormente postas em prática (FORCELLINI, 2002, 160 p).

Com a obtenção do maior número de ideias possíveis, é necessário realizar um processo de avaliação de tais ideias. Isso determina o início da terceira etapa, **avaliar e efetuar a análise preliminar**. Durante o processo de avaliação deve-se tomar como base alguns critérios como principais, como exemplo, temos o custo em relação a concorrência e o avanço tecnológico.

Feita a avaliação das possíveis soluções, Forcellini (2002) acredita que é possível agregar duas ideias seletivamente tornando-as uma solução composta que ainda assim esteja entre os critérios estabelecidos.

Na quarta etapa, **análise das soluções**, cada solução escolhida na fase anterior deve ser minuciosamente avaliada, pois muitas das soluções tecnicamente aceitáveis são inviáveis do ponto de vista econômico. Para que seja devidamente validada a proposta de solução deve possuir uma análise à cerca de seu processo de fabricação, aquisição dos materiais necessários (FORCELLINI, 2002, 160 p).

Refinar o projeto é a quinta etapa, onde as atividades são de cunho mais específicos. Nesta fase o projetista deve reduzir o número de partes do projeto, criar um padrão, estabelecer fixações e efetuar esquemas para registros temporários das soluções dando-lhe uma forma. Também devem ser realizadas análises que considerem desempenho, custo, cargas devidamente aplicadas, confiabilidade, entre outros (FORCELLINI, 2002, 160 p).

Após feitas as devidas análises e refinamentos, parte-se para o **leiaute** (etapa 6) do projeto, onde Forcellini (2002) considera que é o início da sequência de desenvolvimento físico

do produto. O leiaute propicia a cara propriamente dita do projeto fornecendo assim informações preliminares de consumo de materiais, mão-de-obra e manufatura.

De acordo com a premissa desta metodologia, onde existem válvulas de análise e revisão buscando minimizar os erros, a sétima etapa é a primeira **revisão do projeto**. Esta é necessária para a aprovação do projeto e conseqüentemente sua continuidade, em busca dessa aprovação, para Forcellini (2002), o projetista deve apresentar o projeto às pessoas interessadas, estando ele preparado para discutir tudo que envolve o projeto, de questões técnicas a características funcionais.

Com a aprovação do projeto na etapa de revisão, inicia-se o **projeto detalhado** (etapa 8), antes da preparação dos desenhos, o projetista deve verificar a gama de materiais disponíveis para a execução do projeto. Tendo em vista o custo elevado e necessidade de maquinário requintado para fabricação de componentes com tolerâncias próximas a zero, Forcellini (2002) aconselha a deixar a tolerância mais frouxa possível, dentro da possibilidade de fabricação acessível, porém sem comprometer o projeto.

Uma série de análises de engenharia devem ser feitas para que o protótipo seja validado, com estas análises, 3 requisitos devem ser verificados: definição e documentação clara das técnicas de análises, profundidade da análise e documentação dos critérios de decisão. Esta é a **análise detalhada** (etapa 9) segundo Forcellini (2002).

Quando as análises estiverem concluídas deve-se iniciar a etapa de **desenvolvimento de modelos e protótipos** (etapa 10), onde segundo Forcellini (2002) deve ser produzido modelos, de acordo com o custo e complexidade da fabricação para aperfeiçoamento do projeto no que diz respeito a qualidade e confiabilidade. Tais modelos podem ser do tipo: protótipo, modelo piloto, item de teste, entre outros.

Apoiando-se nos resultados da etapa anterior, deve ser feita a **revisão e avaliação do protótipo** (etapa 11), onde se verifica o protótipo em relação aos requisitos iniciais.

A última etapa, etapa 12, chama-se **apoio à fabricação**, onde o projetista deve acompanhar todas as etapas de fabricação, para aprovar ou não, toda e qualquer alteração que se faça necessária por algum evento seja ele esperado ou não.

3.3.2.1 Brainstorming

O Brainstorming, que traduzido literalmente seria tempestade cerebral, foi criado por Alex Osborn que era sócio em uma agencia de publicidade, diretor de um banco e colaborador

de diversas revistas, tal método foi aplicado pela primeira vez no ano de 1938, sendo adotado nos cursos de exatas, biomédicas e humanas em universidades americanas, nas forças armadas, em empresas comerciais, indústrias e em todos os demais locais onde se fizessem necessárias novas ideias a partir do ano de 1950 (RUI SANTO, 2016).

Segundo Forcellini (2002), o brainstorming pode ser executado algumas condições:

- A primeira delas é o coordenador convidar um grupo de pessoas para uma reunião de trabalho onde devem buscar soluções para um determinado problema, o número de pessoas deve variar, mas recomenda-se que 5 a 10 pessoas estejam presentes.
- A segunda é de que as pessoas devem ser de diversas formações, como exemplo, estas pessoas podem ser de diversos setores, porém devem ser de mesmo nível dentro da empresa.
- A terceira é a respeito da duração, esta reunião deve durar entre 30 e 50 minutos.
- Por fim, a reunião deve possuir um coordenador e que as sugestões nela propostas sejam devidamente registradas.

Forcellini (2002) também indica que as ideias não sejam criticadas de nenhuma forma e que também não seja feita uma avaliação prematura, mesmo que absurdas elas pareçam, deve-se buscar o máximo de soluções, mesmo que de baixa qualidade, tais soluções podem ser combinadas e acabarem gerando uma outra.

O brainstorming é um método que pode ser utilizado em qualquer etapa de desenvolvimento de um produto, sua função é solucionar problemas gerais, tais como definição de algum passo de fabricação, forma de manutenção, logística de transporte (FORCELLINI, 2002).

Forcellini (2002) afirma que ao longo dos anos o brainstorming recebeu diversas sugestões de modificações. Segue abaixo uma versão do brainstorming conhecido como brainstorming escrito, ou também, método 635.

- Um problema é apresentado para um grupo de 6 pessoas.
- Cada membro deve escrever 3 sugestões de solução.
- Cada membro deve repassar sua lista para o membro seguinte, que por sua vez deverá ler as sugestões escritas e adicionar mais 3 sugestões ou propostas de alterações nas sugestões anteriores.
- Para finalizar, cada lista deve passar pelos outros 5 integrantes do grupo.

Com a conclusão deste método, contando que os integrantes do grupo sejam bastante criativos, espera-se obter 108 sugestões para solução de um determinado problema.

3.3.3 Metodologia de projeto segundo Pahl & Beitz

A metodologia de projeto proposta por Pahl & Beitz tem como base anos de estudo e aplicação dos procedimentos sistemáticos no desenvolvimento de produtos, tal metodologia é considerada clássica no setor de projeto de produtos industriais servindo de base para diversas pesquisas (FORCELLINI, 2002).

Para essa metodologia foi estabelecido um processo de projeto dividido em quatro fases principais: **a definição da tarefa; o projeto conceitual; o projeto preliminar (de configuração); e o projeto detalhado**, como mostra a Figura 4.

De acordo com Forcellini (2002), o estudo do problema na etapa de **definição da tarefa** resulta na criação de uma lista de requisitos, esse estudo serve para fixar no projetista a função requerida, as grandezas de entrada e saída, além de variações das condições externas ao problema. Durante a criação da lista dos requisitos, deve-se atentar para distinguir os requisitos entre obrigatórios e desejáveis, tendo os obrigatórios que serem atendidos sob quaisquer circunstancia e os desejáveis, sejam avaliados principalmente do ponto de vista financeiro a fim de definir sua aplicação.

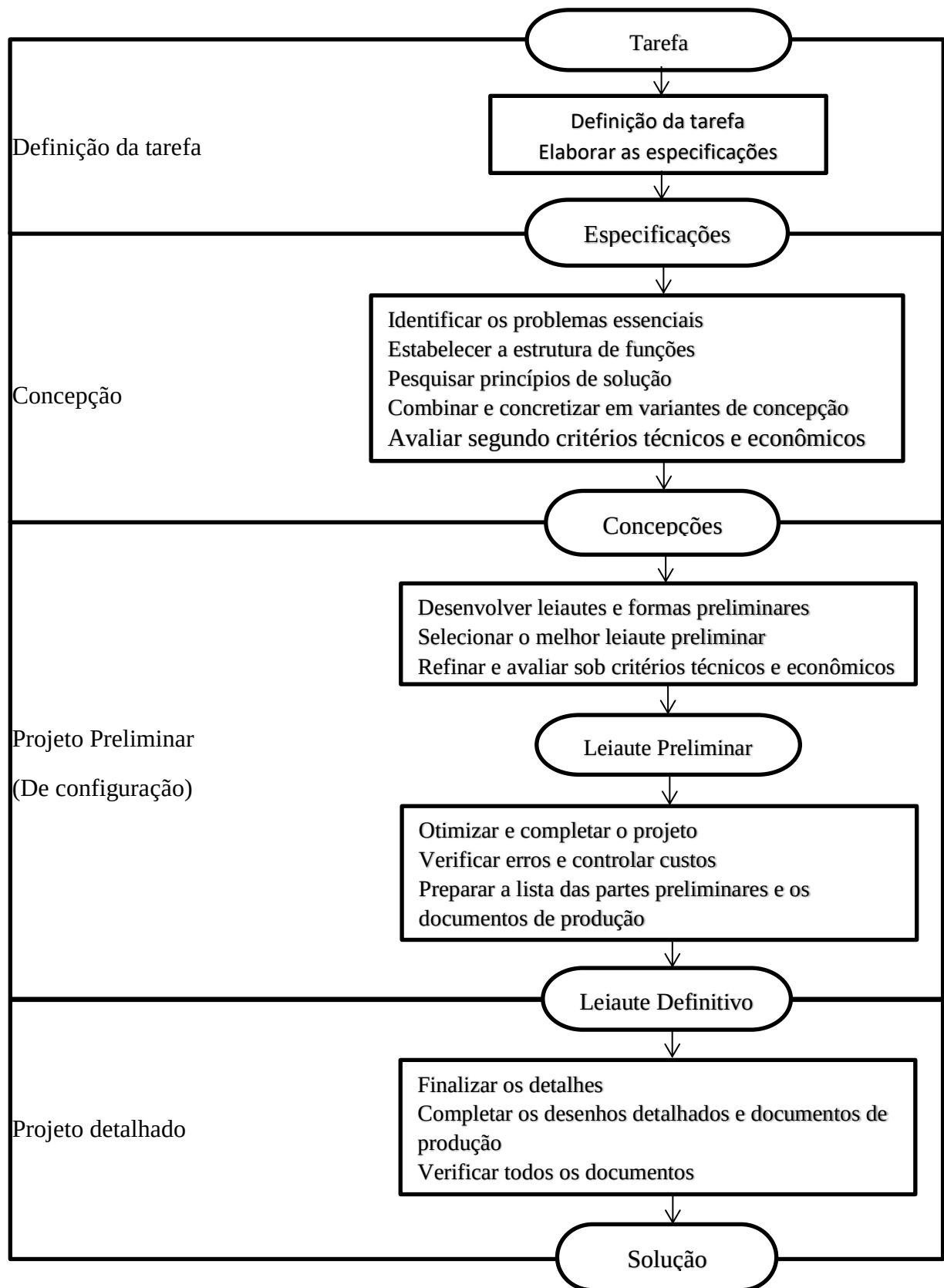
A conclusão desta etapa se dá com o acordo entre os diversos setores (financeiro, técnicos, consumidores) a respeito da lista elaborada, com esta conclusão tem-se a base para as etapas seguintes (FORCELLINI, 2002).

O segundo passo desta metodologia é a **concepção**, no qual consiste em diversos passos, sendo estes: a identificação dos problemas essenciais; o estabelecimento da estrutura da função; a busca pelos princípios de solução; a combinação destes princípios concretizando-os em variantes de concepção e por fim a avaliação baseada nos critérios técnicos e econômicos (FORCELLINI, 2002).

Definindo o problema central, é estabelecida uma função global na qual se baseia em uma série de fatores como fluxo de energia, material, expressando o relacionamento entre as entradas e as saídas. Esta função se desdobra em sub-funções menos complexas, estabelecendo ao final, uma estrutura de funções (FORCELLINI, 2002).

Uma pesquisa por princípios de soluções deve ser realizada para que as sub-funções sejam satisfeitas. Este passo deve ser concretizado por meio de pesquisa bibliográfica, análises de sistemas existentes, etc. Também são utilizados métodos intuitivos como, por exemplo, o brainstorming, métodos 635, além de métodos discursivos (FORCELLINI, 2002).

Figura 4-Modelo criado por Pahl & Beitz



Fonte: Adaptado de Forcelini, 2002.

O quarto passo é a combinação dos princípios de solução, a fim de satisfazer a função global. Onde pode-se utilizar de esquemas de classificação conhecidos como matriz morfológica, associando as funções às suas possíveis soluções correspondentes (FORCELLINI, 2002).

Após isso, segue-se para a seleção das combinações, onde pode inicialmente eliminar as combinações impraticáveis, ordenando após isso as combinações restantes seguindo alguns critérios: Compatibilidade com a tarefa global; satisfação dos requisitos obrigatórios; desempenho; custos; ergonomia; segurança e preferência de pessoal. (FORCELLINI, 2002)

A concretização em variantes de concepção tem como objetivo coletar mais informações a respeito das possíveis combinações, porém desta vez, considerando um maior número de critérios (FORCELLINI, 2002).

Por último tem-se a avaliação das variantes de concepção que visa comparar as soluções apresentadas a fim de estabelecer a(s) melhor(es). Normalmente usa-se o método da análise do valor, onde é estabelecido o valor de uso de uma solução a partir de orientações (FORCELLINI, 2002).

O **projeto preliminar** tem início com uma concepção avaliada técnica e economicamente. A ideia do projeto preliminar é satisfazer uma certa função, porém com forma dos componentes, materiais apropriados. O projeto da forma deve se iniciar em escala, tomando como base os requisitos espaciais, critérios de segurança, ergonomia, produção, montagem, operação, manutenção e custos (FORCELLINI, 2002).

Por fim, o **projeto detalhado** é o complemento do projeto preliminar, sendo nesta fase estabelecidas as decisões finais quanto à forma, medidas, acabamentos, materiais além da reavaliação do projeto e dos custos da fabricação. Nesta fase também são criados os documentos finais do projeto para possibilitar a fabricação (FORCELLINI, 2002).

4. PROJETO DE UM CUBO DE RODA SEGUINDO A METODOLOGIA DE PAHL & BEITZ

Neste capítulo serão apresentadas as etapas de projeto de um cubo de roda utilizado em um protótipo baja SAE, para tal projeto foi utilizada a metodologia de Pahl & Beitz a fim de otimizar o processo.

4.1. DEFINIÇÃO DE TAREFA

Neste item será justificada a escolha da tarefa, assim como a definição da função do componente a ser projetado, definindo os objetivos e posteriormente uma lista de requisitos obrigatórios e desejáveis, tomando como base funções, custo, montagem, massa, melhoria de desempenho, tudo por se tratar de um projeto de um componente de um protótipo, tais definições se mostram úteis para que os objetivos possam ser alcançados.

4.1.1 Definição de tarefa

Para a definição da tarefa, primeiramente ocorreu uma análise criteriosa nos componentes de suspensão do protótipo onde observou-se o superdimensionamento de um componente específico, conforme a Tabela 01, conhecido como cubo de roda dianteiro, que é responsável por permitir o movimento relativo de rotação das rodas em relação a estrutura do protótipo. Com isto, foi possível a criação de uma planilha que possibilitasse a identificação dos itens obrigatórios para um correto funcionamento do cubo de roda, assim como os requisitos necessários para a otimização do projeto.

Tabela 1- Comparação entre os fatores de segurança

Componente	Tensão máxima (Mpa)	Tensão de escoamento (Mpa)	Fator de segurança
Bandeja inferior	253,26	360,00	1,4
Cubo de roda	88,37	450,00	5,11
Montante	195,00	450,00	2,3
Ponta de eixo	301,49	475,00	1,57

Fonte: Autoria própria, 2017.

4.1.2 Matriz QFD

Como forma de garantir a qualidade do projeto desde o início, é necessário a utilização da casa da qualidade, que segundo Forcellini (2002), funciona como uma ferramenta de planejamento interfuncional e comunicativo entre os setores responsáveis pelo desenvolvimento do produto, traduzindo para estes as necessidades do cliente quanto as características do produto. Por meio de um brainstorming entre os projetistas da cactus, foi elaborada a matriz QFD, como mostra a Figura 5, tomando os requisitos dos clientes como os objetivos globais do time.

Figura 5- Matriz QFD

REQUISITOS DA QUALIDADE			x y y - y - -				Análise externa-clientes		
			Material	Pintura/ revestimento	Rolamentos	Furação compatível com a roda			
REQUISITOS DO CLIENTE		Importância	Relação: o que x como				Conc. 1	Conc. 2	Cactus
	Peso	4	3	1	2	-	3	2	2
	Custo	4	3	2	3	1	2	3	1
	Facilidade de montagem	3	-	-	1	3	3	2	2
	Resistência	5	2	1	2	-	3	2	3
Análise interna-técnicos	Importância		5	1	3	5	Simbologia das relações: Da cobertura ou dos "comos": Relação direta: Forte (X), Fraca (Y) Relação inversa: Forte(D) , Fraca (E) Dos "oque' Forte(3), Média(2), Fraca(1)		
	Cactus		3	2	3	5			
	Concorrente 1		5	5	3	3			
	Concorrente 2		4	3	3	2			
Metas- Variáveis			"x"	"x"	"y"	"k"			

Fonte: Autoria própria, 2017.

4.1.3 Especificações

Definindo as especificações do projeto, tem-se os requisitos obrigatórios (Tabela 2) para que o cubo de roda venha a cumprir minimamente as funções para as quais ele está sendo projetado, contudo também se tem os requisitos desejáveis, onde estes buscam otimizar o projeto de forma a superar o projeto atual.

Tabela 2- Requisitos obrigatórios e desejáveis

Requisitos obrigatórios	Sistema	Requisitos desejáveis	Sistema
Suportar carga de 6 kN	Resistência	Custo inferior a R\$ 550,00	Custo
Furação 4x144 mm	Montagem	Diâmetros internos do ATV TRX	Montagem
Fixação do disco de freio	Montagem	Massa inferior a 450 g	Desempenho

Fonte: Autoria própria, 2017.

4.2 CONCEPÇÃO

4.2.1 Identificação dos problemas iniciais

Tendo em vista a falta de confiabilidade de um produto com o um fator de segurança tão elevado, busca-se definir um projeto de um cubo de roda capaz de competir com o cubo de roda comercial atualmente utilizado.

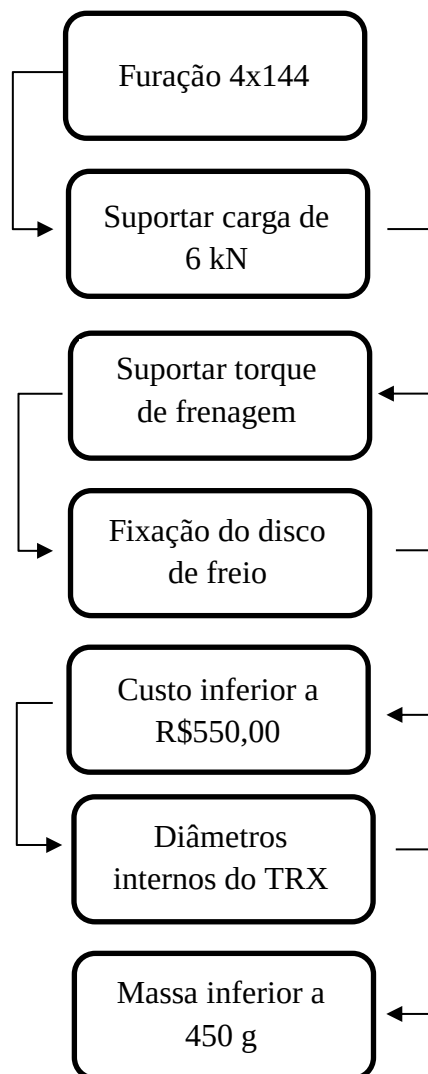
Partindo para as problemáticas, temos que este componente deve estar protegido pela roda, tendo como fatores limitantes o diâmetro de furação e o diâmetro interno da roda Douglas A5 10x5 4x144. A carga mínima suportada de 6 kN se dá devido a utilização em condições severas tanto em relação ao terreno quanto a obstáculos inesperados.

4.2.2 Estrutura da função

A estrutura de função hierarquiza as funções do componente quando não se há um relacionamento explícito entre estes e seu objetivo é possibilitar a descoberta de soluções mais

facilmente, segundo Forcellini (2002). Neste passo, será elaborada um fluxograma que ilustre a estrutura através de níveis (Figura 6).

Figura 6-Estrutura da função



Fonte: Adaptado de Forcellini, 2002.

4.2.3 Busca pelos princípios de solução

A busca pelos princípios de solução se dá a partir da análise das etapas anteriores, tendo como principal objeto de análise a matriz QFD por esta indicar os itens que devem desprender mais atenção do projetista, possibilitando assim a criação e análise de um leque de possibilidades de solução. Os princípios de solução são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3-Princípios de solução

Função	Opções de soluções			
Materiais	Alumínio 7075-t6	Aço SAE 1020	Aço SAE 1045	-
Fixação	Parafuso prisioneiro	Parafuso	Interferência	Anel elástico

Fonte: Autoria própria, 2017.

4.2.4 Avaliação baseada nos critérios técnicos e econômicos

Neste item serão avaliadas as soluções conforme requisitos de qualidade do projeto, para que sejam definidas as melhores opções técnica e economicamente, a melhor forma de se analisar é através de uma matriz de escolha.

Com isso a primeira avaliação se dá em relação ao material a ser utilizado, observando pontos como peso, custo e resistência onde cada um destes possuem um peso relacionado ao grau de importância quanto aos requisitos desejados pelos clientes, como mostra as Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4-Matriz de escolha do material

<i>Requisitos</i> <i>Pesos</i>	<i>Material</i>				
		Custo	Peso	Resistência	Total
<i>Alternativas</i>		4	4	5	
	7075-76	5	10	8	100
	SAE 1020	9	6	5	85
	SAE 1045	7	6	6	82

Fonte: Autoria própria, 2017.

Tabela 5- Fixação

<i>Requisitos</i>		Custo	Peso	Facilidade de fabricação	Manutenibilidade	Total
<i>Pesos</i>		4	4	5	3	
<i>Alternativas</i>	Parafuso	10	6	10	10	144
	Interferência	6	10	7	5	114
	Solda	7	8	9	2	111

Fonte: Autoria própria, 2017.

4.2.4 Brainstorming

O brainstorming, termo inglês que em tradução livre significa “chuva de ideias” é um método de geração de soluções e segue sendo aceito por esta denominação desde que foi introduzido por Alex Osborn em 1939 (FORCELLINI, 2002).

Ainda segundo Forcellini (2002), o método do brainstorming para que bem executado deve seguir algumas regras tais como:

- Um coordenador deve selecionar um determinado número de pessoas, indica-se entre 5 e 10 pessoas, porém fica a critério do coordenador.
- Tais pessoas devem possuir formações diferentes, diferentes departamentos, porém de mesmo nível hierárquico.
- O tempo da reunião para aquisição das ideias deve ser de 30 a 50 minutos.
- Deve-se garantir o registro de todas as ideias.

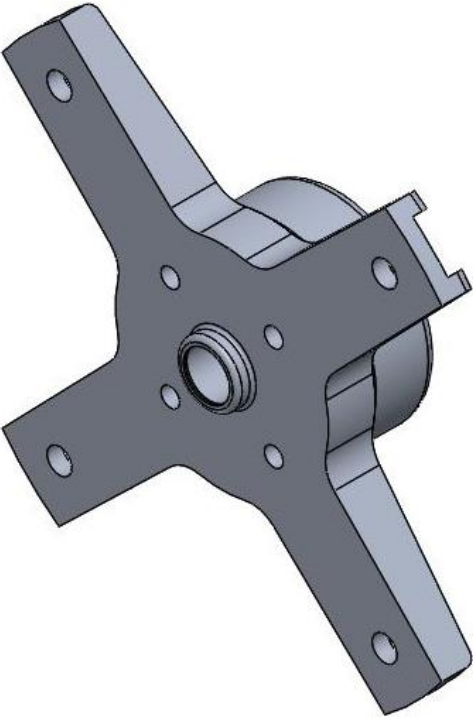
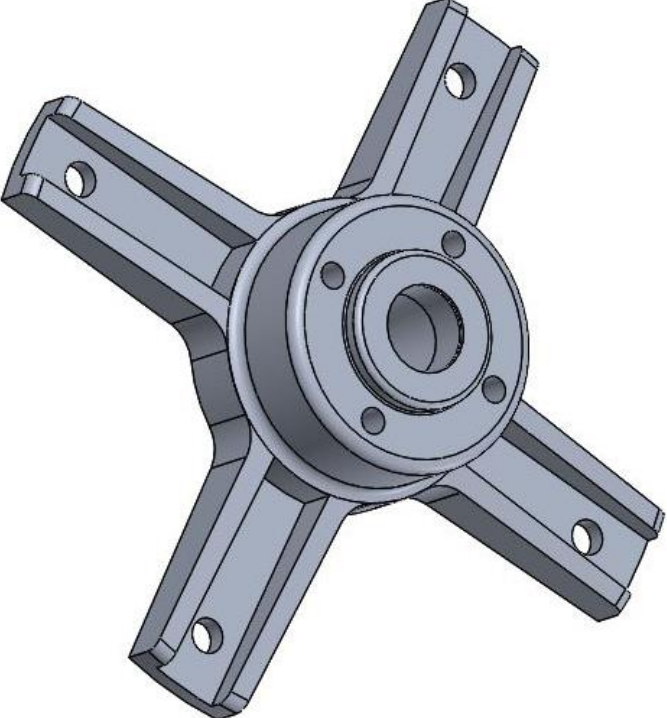
4.2.4.1 Brainstorming realizado

Utilizando-se das orientações descritas anteriormente e de algumas adaptações do brainstorming para definir o melhor leiaute para o cubo de roda. Para isso, utilizou-se o seguinte procedimento:

1. Os chefes de subsistemas foram selecionados, totalizando 5 chefes.
2. Foi dado um tempo de 60 minutos para que analisassem o problema e propusessem uma solução.
3. Cada solução foi encaminhada com a maior quantidade de detalhe possível.
4. Não houveram discussões a respeito das ideias.

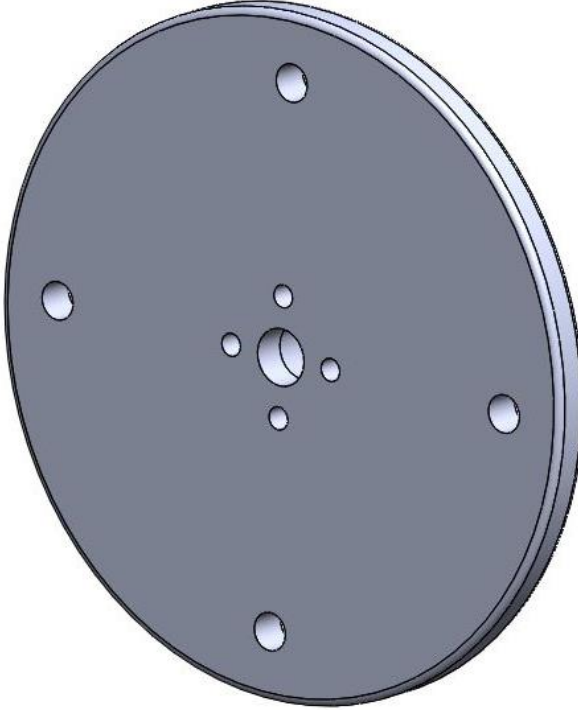
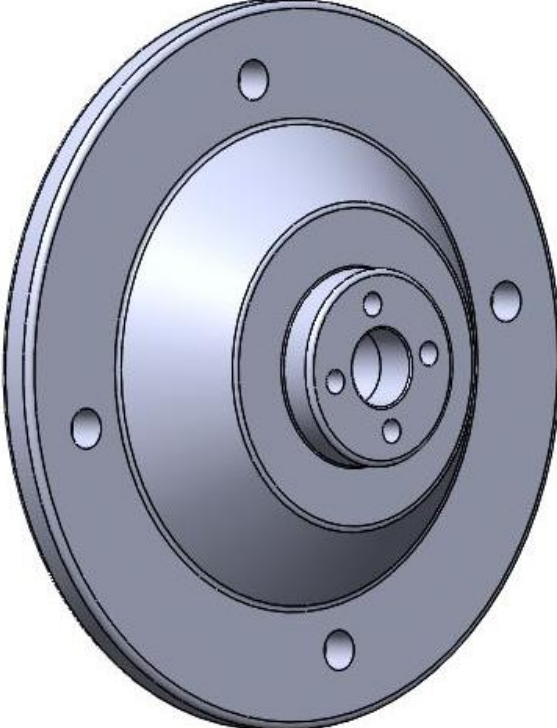
As soluções foram analisadas pelo método da listagem de atributos como mostra as Figura 7, Figura 8 e Figura 9.

Figura 7- Solução 1

	
Descrição	Componente com foco na otimização da geometria para uma maior redução de massa.
Fixação dos parafusos do disco	Protegido por um ressalto, de forma simples como exigido.
Fixação dos parafusos da roda	Preso em rasgo que facilita a manutenção.
Pontos negativos	Grande quantidade de detalhes, como rasgo de anel elástico que não se faz necessário.

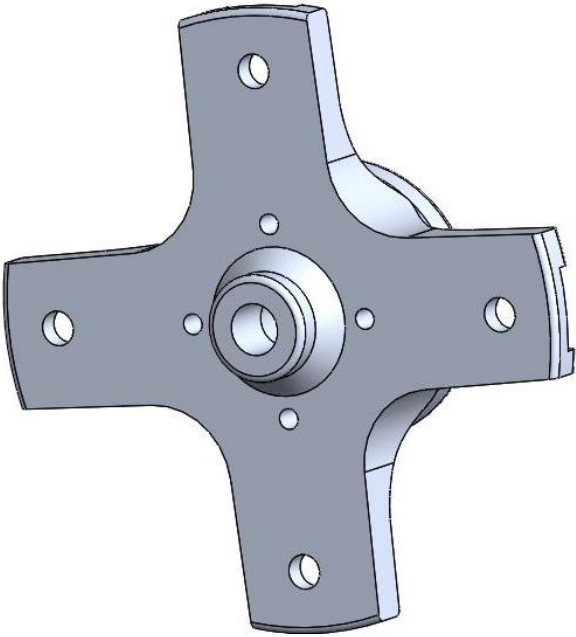
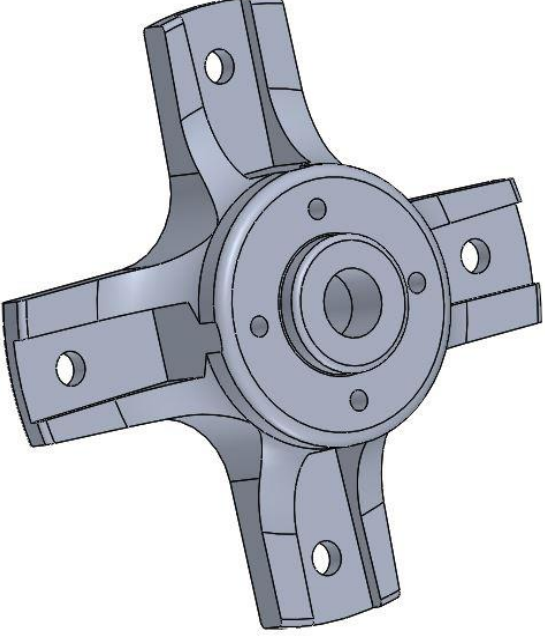
Fonte: Autoria própria, 2017.

Figura 8- Solução 2

	
Descrição	Peça com geometria simples, de fácil manufatura.
Fixação dos parafusos do disco	Fixação simples
Fixação dos parafusos da roda	Fixação simples
Pontos negativos	Superdimensionamento devido ao excesso de massa.

Fonte: Autoria própria, 2017.

Figura 9- Solução 3

	
Descrição	Componente com geometria complexa para redução dos concentradores de tensão.
Fixação dos parafusos do disco	De forma a proteger os parafusos por um ressalto.
Fixação dos parafusos da roda	Rasgo nos braços de fixação permitem um encaixe do parafuso impedindo sua rotação durante o aperto.
Pontos negativos	A complexidade da peça aumenta o custo.

Fonte: Autoria própria, 2017.

4.2.5 Avaliação das alternativas pela listagem de atributos

Consistindo em isolar e listar as principais características de um produto, este método criado por Robert Crawford tem como atividades elencar e avaliar as características de um produto a fim de melhorá-lo (FORCELLINI, 2002).

Seguindo o modelo criado por Correia e Obrzut (2013), as alternativas foram comparadas com o modelo de referência, definido como o modelo A01, em relação a diversos atributos, sendo atribuída uma pontuação (+1) – Melhor que a referência; (-1) – Pior que a referência e (0) igual a referência.

Diferentes pesos foram atribuídos aos atributos avaliados, de acordo com sua importância para o projeto. Os pesos multiplicam as pontuações que por sua vez, seu somatório gera um valor final onde a alternativa com maior pontuação é indicada como a melhor opção. Como mostra a Figura 10 a seguir,

Figura 10- Atributos avaliados e seus determinados pesos

	A01	A02	A03	Peso
Fixação da roda	0	-1	0	5
Fixação do disco de freio	0	-1	0	4
Massa	0	-1	-1	4
Fácil manutenção	0	1	1	2
Fixação dos rolamentos	0	-1	-1	2
Fácil fabricação	0	1	-1	4
Σ Valores x Peso	0	-9	-8	

Fonte: Autoria própria, 2017.

4.3. PROJETO DETALHADO

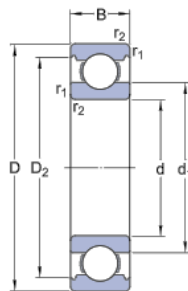
O projeto detalhado é a etapa na qual se conclui todas as etapas anteriores, com isso, para o projeto do cubo de roda é necessário definir os rolamentos necessários para que se possa realizar o dimensionamento analítico e fechar as dimensões finais, além de realizar as simulações computacionais para garantir a integridade do componente com o uso e a elaboração do desenho técnico.

4.3.1 Seleção dos rolamentos

Para a seleção dos rolamentos o catálogo iterativo da SKF se fez útil devido ao número de restrições como diâmetro interno e largura do rolamento. Com a velocidade máxima do protótipo estimada em 60 km/h e a carga já descrita no início do trabalho foi possível determinar os 2 rolamentos para utilização no cubo de roda. Onde o rolamento menor foi definido como sendo o 16002 e maior como o 61904, ambas as dimensões e capacidades de carregamento podem ser vistas nas Figuras 11, 12, 13 e 14.

Figura 11-Dimensões do rolamento 16002

Dimensões

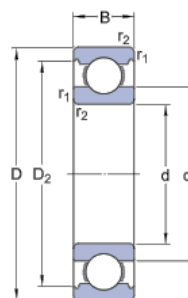


d	15	mm
D	32	mm
B	8	mm
d ₁	≈ 20.5	mm
D ₂	≈ 28.2	mm
r _{1,2}	min. 0.3	mm

Fonte: Skf, 2018

Figura 12- Dimensões do rolamento 61904

Dimensões



d	20	mm
D	37	mm
B	9	mm
d ₁	≈ 25.55	mm
D ₂	≈ 32.7	mm
r _{1,2}	min. 0.3	mm

Fonte: Skf, 2018

Figura 13-Capacidades de carregamento do rolamento 16002

Dados de cálculo

Classificação de carga dinâmica básica	C	5.85	kN
Classificação de carga estática básica	C ₀	2.85	kN
Limite de carga de fadiga	P _u	0.12	kN
Velocidade de referência		50000	r/min
Velocidade-limite		32000	r/min
Fator de cálculo	k _r	0.02	
Fator de cálculo	f ₀	14	

Fonte: SKF, 2018.

Figura 14-Capacidades de carregamento do rolamento 61904

Dados de cálculo

Classificação de carga dinâmica básica	C	6.37	kN
Classificação de carga estática básica	C ₀	3.65	kN
Limite de carga de fadiga	P _u	0.156	kN
Velocidade de referência		43000	r/min
Velocidade-limite		26000	r/min
Fator de cálculo	k _r	0.02	
Fator de cálculo	f ₀	14.7	

Fonte: SKF, 2018.**4.3.2 Dimensionamento do braço de fixação na roda**

O braço de fixação na roda (Figura 15), durante a situação de salto é sujeito a tensão de tração, sendo assim possível determinar a área mínima para a sua seção transversal.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma}$$

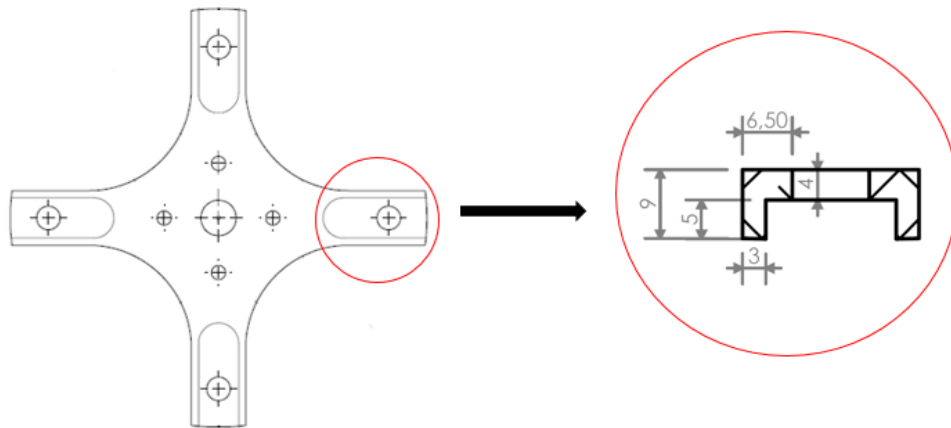
$$A = \frac{6000 \text{ N}}{450 \text{ MPa}}$$

$$A = 1,33 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

Com a área mínima necessária, foi possível dimensionar o componente a partir da área de seção transversal, na Figura 15 é possível verificar a área de seção transversal com as suas

respectivas cotas. Com o novo valor de área é possível recalcular o valor de tensão inferida no componente a partir da carga aplicada.

Figura 15-Seção transversal



Fonte: Autoria própria, 2018.

$$A = (0,003 * 0,005 + 0,004 * 0,0065) * 2$$

$$A = 8,2 * 10^{-5} \text{ mm}^2 = 82 \text{ mm}^2$$

O cálculo da tensão utilizando a nova área se dá por:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{6000 \text{ N}}{82 \text{ mm}^2}$$

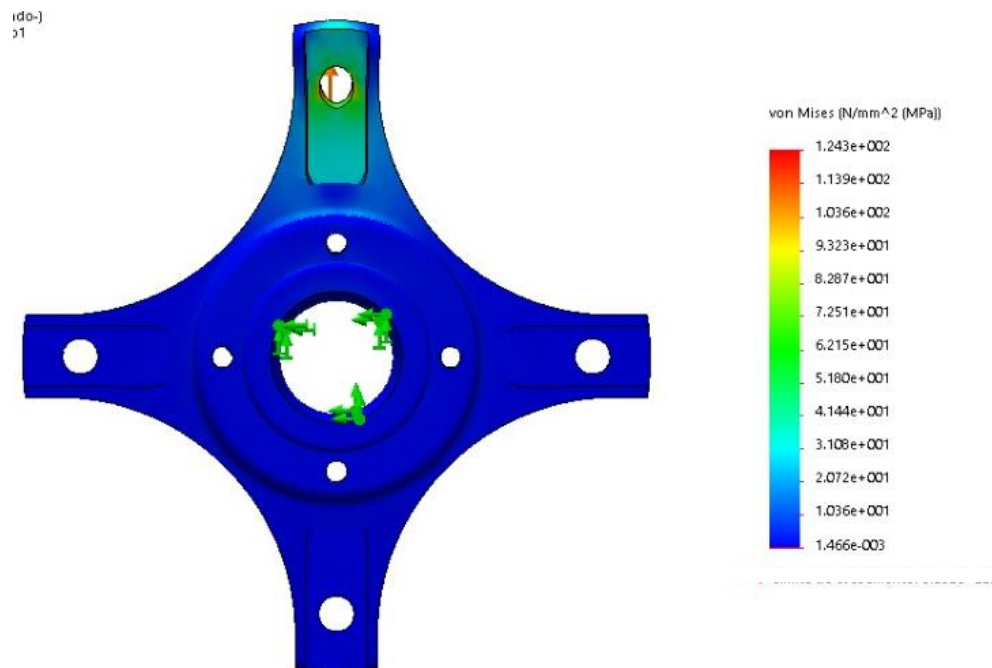
$$\sigma = 73,17 \text{ MPa}$$

4.3.2 Simulação estática

A simulação estática se dá após a modelagem do componente com o intuito de verificar as tensões inferidas no material, de forma que assim garanta a confiabilidade quanto a resistência as cargas aplicadas. Com a modelagem do componente após os cálculos analíticos e determinações de suas dimensões, foi realizada a simulação computacional estática a partir

do método de elementos finitos, onde podemos observar a tensão máxima resultante de 124 MPa na Figura 16, de forma a garantir que o elemento irá resistir a carga aplicada.

Figura 16-Simulação estática



Fonte: Autoria própria, 2018.

4.3.2 Análise de fadiga

Pelo fato de que a maioria das falhas em equipamentos acontecem pelas cargas que variam e até se repetem ao longo do tempo. Estas falhas ocorrem comumente em tensões abaixo da tensão de escoamento dos materiais. Desta forma, o uso de apenas a análise estática pode fornecer projetos com pouca ou nenhuma segurança a cargas dinâmicas (NORTON, 2013).

Segundo Norton (2013), o carregamento neste modelo de máquina rotativa é considerado uma tensão alternada devido o valor médio entre as curvas senoidais é zero. Com base na definição da tensão é possível determinar a resistência à fadiga, pois o material utilizado é o alumínio e o mesmo não possui limite de fadiga.

A resistência à fadiga é calculada levando em consideração o valor do limite de resistência à tração da liga, nesse caso esse valor é de 480 Mpa, verificado nos catálogos da GGD Metais. Para valores limite de resistência à tração superior ou igual a 330 Mpa, temos:

$$S'_f = 130 \text{ MPa}$$

Para determinar o valor da resistência à a fadiga corrigida é necessário considerar um conjunto de fatores de correção para uma aplicação particular. O cálculo é realizado através da seguinte equação:

$$S_f = C_{carreg} * C_{tamanho} * C_{superf} * C_{temp} * C_{conf} * S'_f$$

A partir das seguintes considerações iniciais é possível determinar os fatores de correção.

Material	S_{ut}	Carga	Manufatura	Temperatura	Confiabilidade
Alumínio	480 MPa	Força normal	Usinado	< 450 °C	99,99%

O fator devido à solicitação de redução da resistência, $C_{carreg} = 0,7$ devido ter se encontrar sob força normal. Para determinar o fator tamanho é levado em consideração o tamanho do seu diâmetro equivalente, logo é determinado através da seguinte equação:

$$C_{tamanho} = 1,189d^{-0,097} = 0,9372$$

O diâmetro equivalente utilizado acima é encontrado a partir da equação e da Figura 15 com as dimensões:

$$d = \sqrt{\frac{A}{0,0766}} = \sqrt{\frac{0,05 * 23 * 9}{0,0766}} = 11,624 \text{ mm}$$

Para superfícies usinadas o fator é determinado baseado na seguinte equação:

$$C_{superf} = A(S_{ut})^b = 0,8783$$

Os valores de A e b são verificados na Tabela 6 a seguir

Tabela 6- Valores de A e b para cada acabamento superficial

Acabamento superficial	A	b
Retificado	1,58	-0,085
Usinado ou estirado a frio	4,51	-0,265
Laminado a quente	57,7	-0,718
Forjado	272	-0,995

Fonte: Adaptado Norton, 2013.

Para temperaturas inferiores a 450 °C o $C_{temp} = 1$. Para um nível de confiabilidade de 99,99 % o valor de $C_{conf} = 0,702$.

Com os valores de cada fator pode-se concluir que a resistência a fadiga corrigida é

$$S_f = 0,7 * 0,9372 * 0,8783 * 1 * 0,702 * 130 = 52,58 \text{ MPa}$$

Para supor a resistência do material considera que o carregamento se encontra sob força normal, logo

$$S_m = 0,75 * S_{ut} = 360 \text{ MPa}$$

O número de ciclos (N) é determinado através da equação da reta descrita abaixo

$$S(N) = aN^b \quad \text{ou} \quad \log S(N) = \log a + b \log N$$

Onde $S(N)$ é a resistência à fadiga corresponde ao número de ciclos e a e b são constantes definidas pelas condições de contorno dadas pelas seguintes equações:

$$b = \frac{1}{z} \log \left(\frac{S_m}{S_f} \right) \quad \text{onde } z = \log N_1 - \log N_2$$

Considera-se $N_1 = 10^3$, porque é onde a curva intercepta no eixo y e $N_2 = 5 * 10^8$, logo tem-se $z = -5,699$, podendo assim determinar $b = -0,1466$. O valor de a determinado baseado em b ,

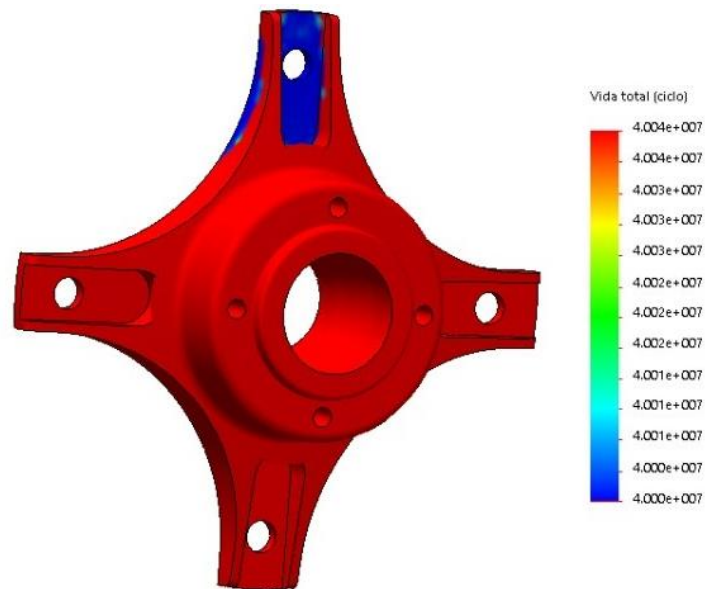
$$\log a = \log S_m - 3b \quad \therefore a = 992,069$$

Logo, o número de ciclos é de $5,6 * 10^7$.

4.3.2 Simulação de fadiga

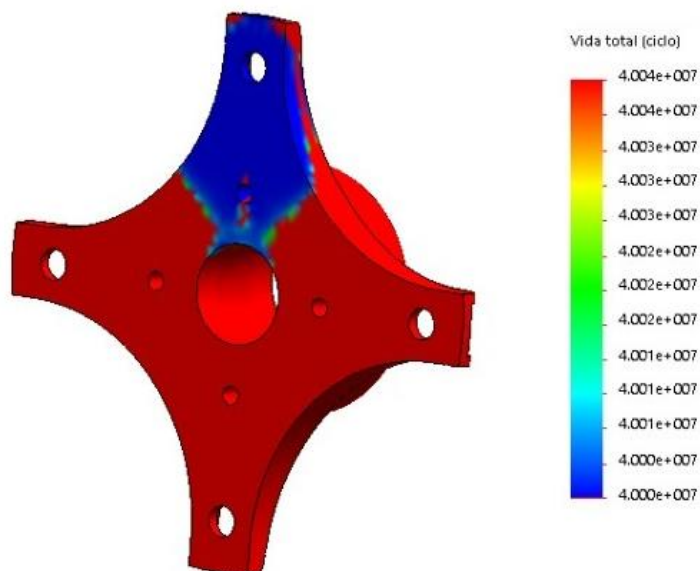
Buscando corroborar os cálculos a partir de uma análise mais complexa foram realizadas simulações computacionais do software solidworks 2016 de forma a identificar a quantidade de ciclo em que o componente resistirá ao carregamento inferido. Para a realização da simulação foram utilizados os mesmos parâmetros descritos no item anterior e o resultado pode ser visto nas Figuras 17 e 18 a seguir.

Figura 17-Resultado da simulação da fadiga. Vista 1.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Figura 18-Resultado da simulação da fadiga. Vista 2.



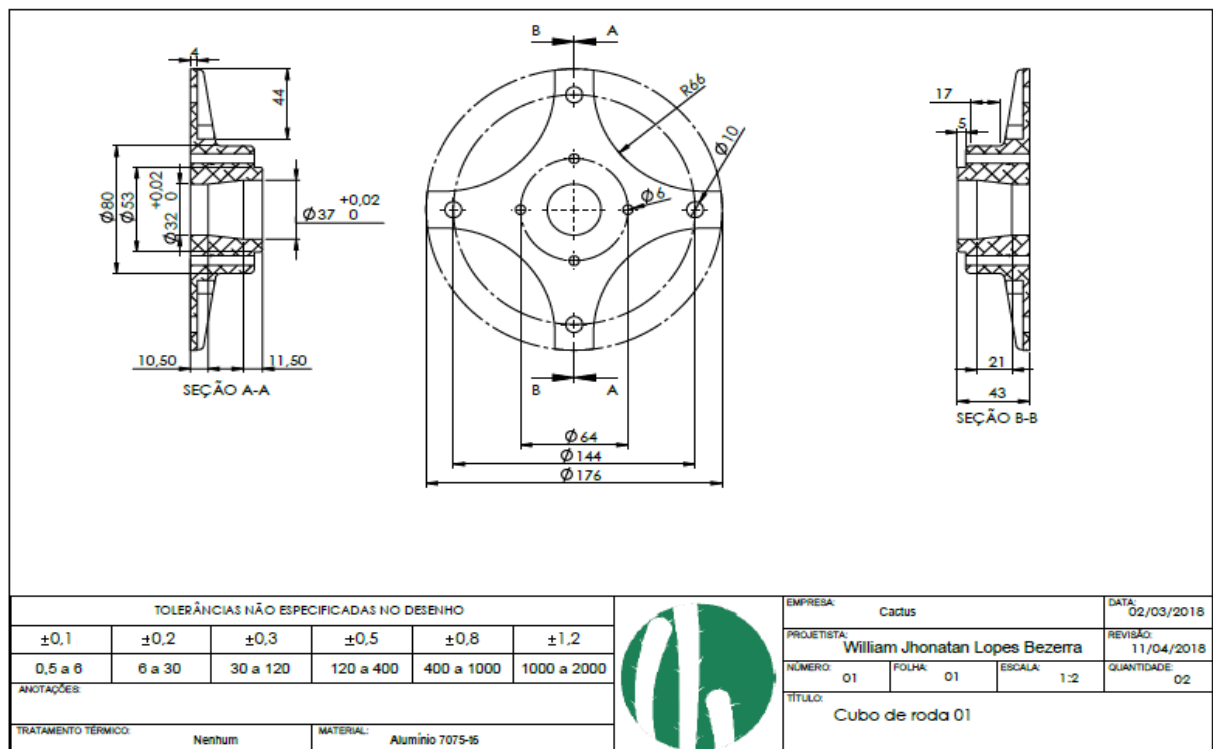
Fonte: Autoria própria, 2018.

Como resultado da simulação a quantidade mínima de ciclos para que possa ocorrer a falha é de 4×10^7 , valor esse inferior ao cálculo analítico.

4.3.2 Desenho técnico

Com a validação analítica e computacional do projeto, a etapa seguinte foi a elaboração do desenho técnico (Figura 19), onde se identifica o material a ser utilizado, vistas e dimensões finais do componente para que o mesmo venha a ser manufaturado. A Figura 20 mostra a renderização do componente final.

Figura 19- Desenho técnico



Fonte: Autoria própria, 2018.

Figura 20- Renderização do componente final



Fonte: Autoria própria, 2018.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho, apresentou o desenvolvimento de um cubo de roda para um protótipo de um veículo off-road da equipe Cactus Baja SAE da UFERSA. No estudo, foi necessário avaliar as metodologias de projeto e sua utilidade para aplicação. Após, uma breve análise dentre as metodologias estudada, foi escolhida a metodologia de projeto segundo Pahl & Beitz a ser seguida no trabalho.

Com a definição da metodologia a ser utilizada, foi realizado um estudo da matriz QFD, onde foram definidos os principais objetivos do projeto, para que pudesse se sobressair diante dos projetos de cubo de roda já existentes, juntamente com a listagem dos requisitos obrigatórios e desejáveis do projeto, já que este, devem se adequar a outros sistemas.

Após analisar as possíveis soluções, foram elaborados 3 modelos de cubos de roda atendendo aos itens especificados, com isso pode fez-se uma análise mais acurada das opções propostas e assim, define-se a melhor forma do projeto. O modelo escolhido passou por uma análise de tensões no Software SolidWords 2016, aferindo as tensões de forma estática e também realizando estudo de fadiga de forma a garantir a qualidade do projeto.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Francisco José de. **Estudo e Escolha de Metodologia para o Projeto Conceitual** *Research and Choice of a Methology for the Conceptual Design*. REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA. v.8, nº 16. Dezembro, 2000.

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

CASTRO, Vinícius de Oliveira Rebouças. **Metodologia de Projeto Aplicada ao Desenvolvimento de um Chanfrador De Tubos**. UFERSA. Mossoró-RN, 2014.

CORREIA, Orlando de Andrade; OBRZUT, Elton Felipe. **Projeto e protótipo de dispositivo para deslocamento vertical de pessoas em ambiente residencial de dois ou três andares**. 2013. 221 f. Monografia - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

DANTAS, Adriano Alves, et al. **Engenharia Colaborativa como uma alternativa para a integração de tecnologias – Um estudo de caso**. São Paulo, 2010.

FERREIRA, C. et al. **Custo no Processo de Projeto de Produtos**. Apostila, Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 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. Dissertação de (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

FORCELLINI, Fernando A.; BACK, Nelson. **Projeto de Produtos**. Apostila do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

GARCIA, A.; SPIM, J.A.; SANTOS, C.A. **Ensaaios dos Materiais**. LTC: Rio de Janeiro/RJ 2000 1.ed. cap. 8.

IMA- Indústria de Auto Peças. Fonte: IMA: <http://www.ima.ind.br/cubo-roda-dianteiro>. Acesso em 24 de Janeiro de 2018

MICHELS, Ediun. **Projeto detalhado de uma máquina de elevação e transporte para empresa metalúrgica de pequeno porte**. Faculdade Horizontina. Horizontina, 2012.

MOIA, Diego de Gouveia. **Previsão da vida em fadiga de materiais metálicos**. 2001. Disponível em: <http://fei.edu.br/~rodrmagm/PROJETOS_IC/Diego.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2018.

NEIS, Patric Daniel (org.). Apostila criada pelo Prof. Neis no curso de Engenharia Mecânica da UFRGS, Porto Alegre, 2013.

NORTON, Robert L., **Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada**/ Robert L. Norton; tradução Konstantinos Dimitriou Stavropoulos, João Batista de Aguiar, José Manoel de Aguiar, Renato Machnievscz, Jéssica Fraga de Castro – 4 ed. – Porto Alegre: Bookman 2013.

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

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

RUI SANTOS. **Criatividade e o vácuo empregatício: como preencher o vácuo, entre candidato e empresa**. Documento adquirido na Biblioteca Temática do Empreendedor. Disponível em: <http://www.bte.com.br>. Acesso em: 18 de Fevereiro de 2016.

SHIGLEY, Joseph E.; MISEHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G. **Projeto de engenharia mecânica**. 7ª ed. Porto Alegre: Bookman. 2005.

SKF. Fonte: SKF: <http://www.skf.com/br/products/product-tables/index.html>. Acesso em 15 de Janeiro de 2018

.