



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

METODOLOGIA DE PROJETO DE PRODUTO E SELEÇÃO DE MATERIAL APLICADA AO SISTEMA DE DIREÇÃO DO VEÍCULO SPARTA VE UFRJ

Rafaela Moraes Araújo

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Materiais da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Luiz Carlos Pereira, D.Sc.

Co-orientador: Ricardo Manfredi Naveiro, D.Sc.

Rio de Janeiro

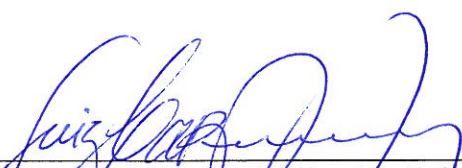
Agosto/2013

METODOLOGIA DE PROJETO DE PRODUTO E SELEÇÃO DE
MATERIAL APLICADA AO SISTEMA DE DIREÇÃO DO VEÍCULO
SPARTA VE UFRJ


Rafaela Moraes Araújo

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO DE MATERIAIS.

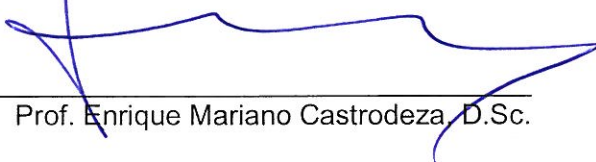
Examinada por:



Prof. Luiz Carlos Pereira, D.Sc.



Prof. Ricardo Manfredi Naveiro, D.Sc.



Prof. Enrique Mariano Castrodeza, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
AGOSTO DE 2013

Araújo, Rafaela Moraes.
Metodologia de projeto de produto e seleção de material aplicado ao sistema de direção do veículo Sparta VE UFRJ / Rafaela Moraes Araújo. - Rio de Janeiro: UFRJ/ESCOLA POLITÉCNICA, 2013.
vii; 87 p.: il.; 29,7cm.

Orientador: Luiz Carlos Pereira
Co-orientador: Ricardo Manfredi Naveiro
Projeto de graduação – UFRJ/Escola Politécnica/ Curso de Engenharia de Materiais, 2013.
Referências Bibliográficas: p.69-70

1. Sistema de direção. 2. Processo de Desenvolvimento de Produto.
3. Seleção de Materiais. 4. Seleção de Processos de Fabricação. I. Pereira, Luiz Carlos. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica. Curso de Engenharia de Materiais. III. Metodologia de projeto de produto e seleção de material aplicado ao sistema de direção do veículo Sparta VE UFRJ.

Dedico este trabalho à minha família, ao meu namorado Danilo e a Equipe Sparta.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço aos meus pais, por todas as oportunidades que me proporcionaram ao longo de todos esses anos. Ao meu pai agradeço o exemplo de ética e profissionalismo, sendo minha inspiração de todos os dias. A minha mãe pelo seu imenso carinho e cuidado com toda a nossa família.

Agradeço ao meu irmão, por todo o companheirismo ao longo dos anos da graduação e da vida e a minha prima Paula, pela sua amizade e ajuda de sempre.

Agradeço ao meu namorado Danilo, por todo amor, carinho e suporte desde o vestibular até a graduação, sem dúvida essa conquista não seria possível sem a nossa parceria.

Agradeço em especial a Equipe Sparta que me proporcionou ótimos momentos na companhia desse maravilhoso time, e sem dúvidas foi o marco na minha vida profissional, pois foi o meu primeiro trabalho, onde pude perceber que quando empenhamos paixão e ação o resultado vem. Além disso, participar desse time me encorajou a desenvolver o meu potencial. Agradeço em especial ao Luiz Fernando, ao Raphael e ao Nocito, que sempre serão grandes referências para mim e por contribuírem diretamente para esse trabalho.

Agradeço aos grandes amigos que fiz durante a graduação, que espero levar para toda a vida: Vitor Brasiliense, Jonas Gomes, Camila Maria, Luiza Muri, Fernanda Luz, Fernando Oliveira e Fernando Magalhães. Gostaria de agradecer em especial a Juliana Lima que compartilhou comigo os momentos mais difíceis durante a graduação, e seu apoio e alegria foram fundamentais para essa conquista.

Agradeço ao meu orientador acadêmico José Pontes e a professora Renata Simão que sempre me orientaram e conversaram comigo pacientemente sobre diversos assuntos, e não mediram esforços para me ajudar quando eu precisei.

Agradeço ao professor Lula que sempre me incentivou a gostar da engenharia e pensar fora da caixa como engenheira ao longo das disciplinas e durante este projeto. Assim como agradeço ao professor Naveiro pela oportunidade de aprender sobre processo de desenvolvimento de produtos.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para essa conquista.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado a Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Materiais.

Metodologia de projeto de produto e seleção de material aplicado ao sistema de direção do veículo Sparta VE UFRJ

Rafaela Moraes Araújo

Agosto/2013

Orientador: Prof. Luiz Carlos Pereira, D.Sc.

Co-orientador: Ricardo Manfredi Naveiro, D.Sc.

Curso: Engenharia de Materiais

Este trabalho aborda o processo de desenvolvimento de produtos do sistema de direção da Equipe Sparta VE da UFRJ, desenvolvido para a competição Shell *Eco-Marathon Americas*, utilizando as metodologias de projeto de produto. O estudo é inicialmente desenvolvido a partir da revisão da literatura sobre processo de desenvolvimento de produto, seguido da abordagem das metodologias de projeto de produto, buscando selecionar as melhores ferramentas e técnicas para sistematização do desenvolvimento do produto deste estudo. O projeto foi desenvolvido na macrofase de desenvolvimento de produto, passando pelas etapas de planejamento de produto, projeto preliminar, projeto conceitual e projeto detalhado. Cada fase possui uma série de atividades que devem ser realizadas para prosseguir no desenvolvimento do projeto. A seleção de materiais e processos de fabricação fez uso da metodologia apresentada por Michael F. Ashby, com a utilização de Índices de Mérito e Mapas de Propriedade de Materiais. Ao final do trabalho temos o detalhamento do projeto, e o desenho técnico de todas as peças que devem ser fabricadas. Por fim foi realizada uma análise dos benefícios em adotar a sistematização do processo de desenvolvimento de produtos para o caso da Equipe Sparta VE UFRJ.

Palavras-chave: Sistema de direção, Processo de Desenvolvimento de Produtos, Seleção de Materiais, Seleção de Processos de Fabricação.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Materials Engineer.

Methodology for product design and materials selection, applied to the steering system used on the electric vehicle Sparta UFRJ

Rafaela Moraes Araújo

August/2013

Advisor: Prof. Luiz Carlos Pereira, D.Sc.

Co-advisor: Ricardo Manfredi Naveiro, D.Sc.

Course: Materials Engineering

This paper deals with the process of product development of the steering system designed by Sparta VE Team of UFRJ, developed for the Shell Eco-Marathon Americas competition, using the product design methodology. At first the study is developed reviewing the literature about the process of product design, then the approach of different product design methodology are applied in order to select the best tools and techniques to systemize the development of the product in this study. The project was conceived in the product development phase, going through the steps of planning the product, preliminary design, conceptual design and detailed design. Every phase has a series of activities that should have been done in order to move on the design. The selection of materials and manufacturing processes made use of the methodology presented by Michael F. Ashby, using material index and material property charts. The detailed design and technical drawings of all components to be manufactured are at the end of the paper. To end up, it was analyzed the benefits in adopting systematization of the process of product development for the Sparta VE Team UFRJ case.

Keywords: Steering, Product Development Process, Materials Selection Process, Manufacturing Process Selection

SUMÁRIO

1. Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivo	1
1.3 A Equipe Sparta Veículos Elétricos	2
1.4 Shell <i>Eco-Marathon</i> Americas (SEMA)	3
1.5 Veículo desenvolvido para <i>Shell Eco-Marathon</i> 2012	4
1.5.1 O sistema de direção	8
2. Projeto de Produto	13
1.6 Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP)	13
1.7 Metodologias de Projeto de Produto	14
1.8 Metodologia adotada no projeto	19
1.8.1 Planejamento do projeto (anteprojeto)	21
1.8.2 Projeto preliminar	21
1.8.3 Projeto conceitual	21
1.8.4 Projeto detalhado	22
3. Desenvolvimento	23
1.9 Planejamento do projeto	23
1.10 Projeto Preliminar	31
1.11 Projeto Conceitual	37
1.11.1 Seleção de Materiais	38
1.11.2 Seleção dos Processos de Fabricação	51
1.12 Projeto Detalhado	62
4. Resultados e Discussões	66
5. Conclusão	68
Referências Bibliográficas	69
Anexo 1 – Desenhos técnicos dos componentes do sistema de direção	71

1. Introdução

1.1 Motivação

Empresas de sucesso são caracterizadas pela sua habilidade de consistentemente criar novos conhecimentos e rapidamente disseminá-los e incorporá-los em novos produtos (NONAKA & TAKEUHI,1997). A área de projeto de produto é responsável por desenvolver essa habilidade. Clark e Fujimoto (1991) descrevem o desenvolvimento de produtos como um processo em que uma organização transforma dados sobre oportunidades de mercado e possibilidades técnicas em bens e informações para a fabricação de um produto comercial.

Segundo Romeiro *et al.* (2010) há três conhecimentos básicos necessários para projetar: (i) conhecimentos para gerar ideias, (ii) conhecimentos para avaliar conceitos e (iii) conhecimentos para a estruturação do processo de projeto. Além disso, segundo o autor, a estruturação do processo de projeto engloba uma sequência típica de etapas em que o nível de incerteza diminui à medida que o processo evolui. A progressão do projeto pode ser vista como uma coleção de estágios sucessivos nos quais ideias abstratas se transformam na especificação detalhada de um produto.

Este trabalho está relacionado com a minha participação no projeto desenvolvido pela **Equipe Sparta Veículos Elétricos** da UFRJ. Esta equipe, formada por alunos de graduação, se caracteriza pela participação de alunos de diversos cursos da UFRJ em vários subprojetos integrados, que vai desde a concepção do veículo até a sua fabricação, e que tem por objetivo alcançar o seu máximo desempenho, a ser verificado em competições envolvendo veículos de mesma categoria. A motivação para a realização deste trabalho está na oportunidade de elaborar um projeto para este veículo seguindo as metodologias de **Projeto de Produto** visando melhorias na sistematização do processo de desenvolvimento deste veículo nas suas várias etapas, de modo a integrar toda equipe nas várias etapas do processo.

1.2 Objetivo

O trabalho consiste em reprojeter o sistema de direção utilizado no veículo de competição da Equipe Sparta Veículos Elétricos da UFRJ, e que atenda aos requisitos da competição

Shell Eco-Marathon Americas 2012. O projeto será desenvolvido de forma a utilizar a metodologia de Projeto de Produto buscando sistematizar esse desenvolvimento.

O projeto deverá passar por todas as etapas de concepção, desenvolvimento e detalhamento de um produto. As etapas de Seleção de Materiais e Processos de Fabricação fizeram uso da metodologia apresentada por Michael F. Ashby (1997), com a utilização de Índices de Mérito e Mapas de Propriedade de Materiais. Sendo assim, será possível identificar os conhecimentos articulados para cada etapa do desenvolvimento do projeto de um produto.

1.3 A Equipe Sparta Veículos Elétricos

A equipe foi criada em Setembro de 2010, em um momento no qual veículos elétricos são apontados como uma solução para atender a demanda energética de forma sustentável.

Responsável por 90% das emissões totais do setor de transportes, a indústria automobilística é hoje a principal candidata a sofrer profundas modificações, com a introdução dos veículos elétricos - puros e híbridos-, como opção aos veículos convencionais à combustão.

O Brasil possui o Plano Nacional de Energia 2030 que prevê a expansão da rede de produção de energia elétrica no país, criando um cenário favorável para o uso dos veículos elétricos nas cidades e estradas do país.

Em nível nacional existe a **Maratona Universitária de Eficiência Energética** que estimula, através de uma competição entre as universidades, o estudo sobre as tecnologias envolvidas em veículos elétricos.

Nesse ambiente foi formada a Equipe Sparta, com o objetivo de projetar, fabricar e desenvolver veículos elétricos. Com uma equipe de mais de 20 alunos de Engenharia e Desenho Industrial, a equipe conta com o apoio de professores e pesquisadores da UFRJ para desenvolver – do projeto à fabricação – veículos elétricos utilitários e veículos competitivos visando competições universitárias.

1.4 Shell *Eco-Marathon Americas* (SEMA)

Iniciada em 1939 dentro de um laboratório de pesquisas da Shell, a *Eco-marathon* é a maior competição de eficiência energética do planeta, dividindo-se em três grandes eventos: *Shell Eco-marathon Americas*, *Europe* e *Asia*. Sua prova é dividida em duas classes de veículos (*Prototype* e *UrbanConcept*) e diversas categorias, adotadas parcial ou completamente em cada um dos continentes, como: veículos elétricos a bateria, elétricos solares, elétricos a célula combustível, etanol, diesel, gasolina, solar e hidrogênio.

O conceito para todos os projetos da competição é o mesmo: **projetar e construir um veículo que percorra a maior distância utilizando a menor quantidade de energia**. No entanto, as regras e dimensões dependem da classe de veículo que a equipe escolhe, *Prototype* ou *UrbanConcept*.

Os projetos da classe de *UrbanConcept* devem desenvolver um veículo com quatro rodas com um sistema de economia de combustível semelhante a um carro de passageiros presente no mercado. Além de atender os critérios de altura, largura, comprimento e peso específicos, esses veículos devem ser capazes de serem dirigidos em condições de chuva leve. Dessa forma, eles devem possuir para-brisas e pneus com profundidade de piso automotivo padrão. Devem possuir um sistema de direção de “parar e acelerar” e ter a capacidade de ficar parado com o motor ligado. Os veículos também precisam de luzes de freio, faróis e indicadores de volta, que devem ser utilizados durante a competição.

Em contrapartida, os veículos protótipos são geralmente menores em tamanho e com uma aparência mais futurista, com um *design* mais aerodinâmico para maximizar a eficiência. Esses veículos podem ser construídos com três ou quatro rodas e têm um compartimento para o piloto que pode ser aberto ou fechado no topo.



Figura 1 - Veículo da classe *Prototype* (à esquerda) e da classe *UrbanConcept* (à direita).

Fonte: Site Oficial Shell Eco-Marathon.

A equipe vencedora é aquela que conseguir percorrer a mesma distância – dez voltas, cerca de 9,7 km – com um menor consumo de bateria a uma velocidade mínima de aproximadamente 25 km/h. As equipes são livres para definir todo seu sistema. Os resultados são verificados em km/Kwh.

1.5 Veículo desenvolvido para *Shell Eco-Marathon 2012*

Em 2012, a Equipe Sparta participou em Houston, EUA pela primeira vez entre os dias vinte e nove de Março e primeiro de Abril, na categoria *Prototype*, passando em todas as etapas de testes (projeto, segurança, dirigibilidade, visibilidade, freio, etc.) ficando em nono lugar entre os 30 (trinta) protótipos elétricos inscritos, com um resultado de 194 km/Kwh.



Figura 2 - Veículos alinhados durante a *Shell Eco-Marathon*.

Fonte: Site Oficial Shell Eco-Marathon



Figura 3 - Veículo da Equipe Sparta durante a Shell *Eco-Marathon*.

Fonte: Imagem fornecida pela Equipe Sparta.

O veículo foi projetado de acordo com as regras do regulamento disponibilizado pela organização da competição. Como indicadores de desempenho de referências foram utilizados os resultados das equipes que competiram em edições anteriores. Disso resultaram parâmetros para o desenvolvimento do projeto.

Para a parte mecânica do carro o maior desafio era a concepção de um veículo leve, seguro e ergonômico. Isso levou a opção por um veículo de três rodas, totalmente fechado, com destaque para aspectos aerodinâmicos, e sob medida para a melhor acomodação do seu piloto, a ser escolhidos entre os membros da equipe (Figura 4).

A carroceria foi desenvolvida toda em fibra de Carbono, sendo a distribuição de esforços no monocoque estudada de modo a minimizar a espessura dos componentes (adequação da espessura visando uma diminuição de peso), mas garantindo a segurança do veículo para as cargas de projeto.

O chassi é composto apenas pelo “Santo Antônio” que se liga a carroceria. Os sistemas de direção e de freios, o garfo traseiro, a barra de proteção superior e o eixo dianteiro foram desenvolvidos a partir da estrutura da carroceria (Figura 5), resultando em um veículo de aproximadamente 25 Kg.



Figura 4 - Concepção do veículo.

Fonte: Fornecido pela Equipe Sparta VE

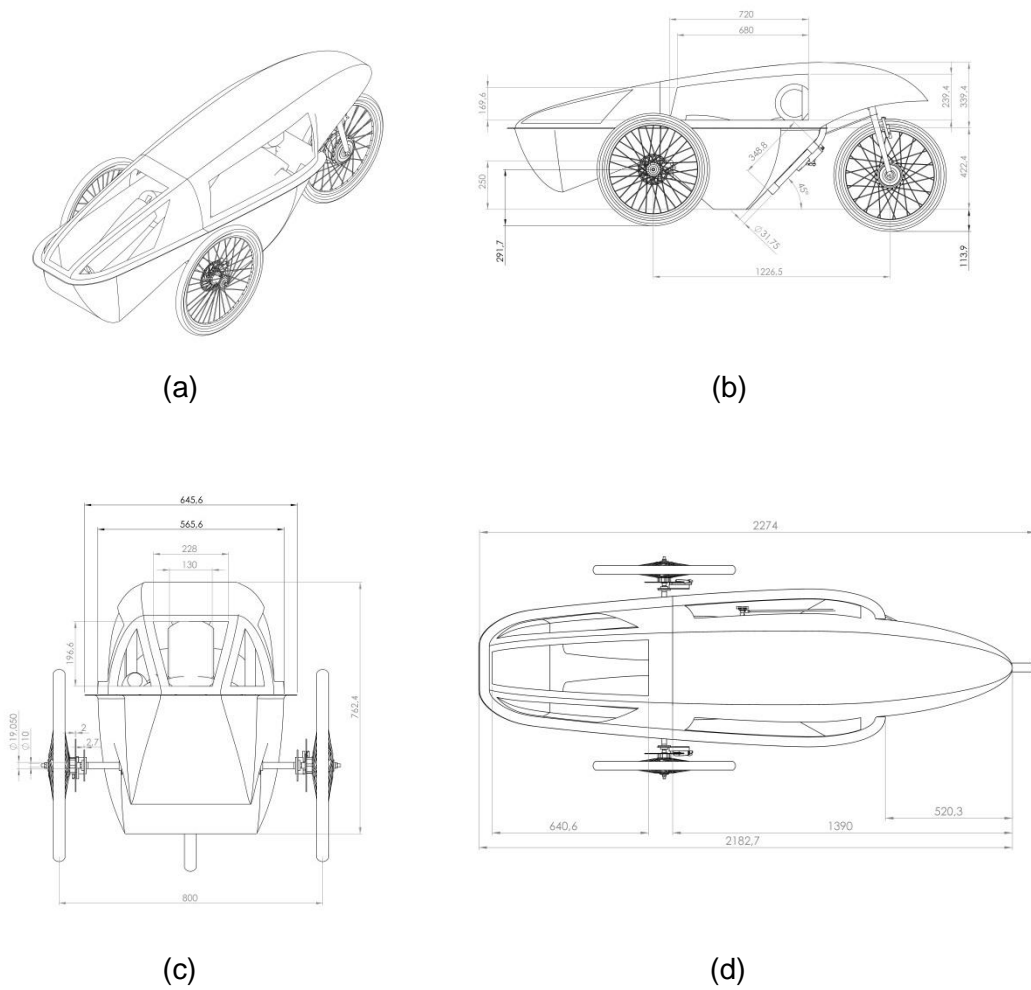


Figura 5 – (a) Vista isométrica (b) Vista lateral (c) Vista frontal (d) Vista superior

Fonte: Fornecido pela Equipe Sparta VE

Na parte de acionamento (elétrico), optou-se por um hub motor (motor de cubo) de forma a diminuir o peso do veículo pela eliminação de um sistema de transmissão e de suporte para o motor (Figura 6). O sistema elétrico do veículo possui um controle digital auxiliado por um microprocessador, o que representa uma relevante modificação visando à otimização do consumo de energia do veículo.

O motor selecionado para o veículo é do tipo corrente contínua (CC) sem escovas, mais eficiente do que um motor CC convencional. Este motor é bastante utilizado em bicicletas elétricas. O controle de velocidade se dá por um microcontrolador da família PIC, simples e de baixo consumo, ajustado pelo piloto através de um potenciômetro. O uso de um microcontrolador permite que se realize a condução do carro com precisão e eficiência. A partir da curva de desempenho do motor é possível controlar a locomoção do veículo numa condição ótima quanto ao consumo de energia.



Figura 6 - *Hub Motor.*

Fonte: Fornecido pela Equipe Sparta VE

O estudo ergonômico do projeto foi feito pelos alunos do curso de Desenho Industrial participantes da equipe. O desenvolvimento do modelo foi baseado nas dimensões dos corpos dos pilotos aptos a dirigir o veículo na competição. Nessa escolha se buscou atender os seguintes requisitos: o piloto deveria ter a máxima habilidade de direção e de menor peso, visto que o objetivo do carro é apresentar a máxima eficiência energética durante a competição. Disso resultou o modelo apresentado na Figura 19. A Tabela 1 detalha as medidas de antropometria estática do projeto.

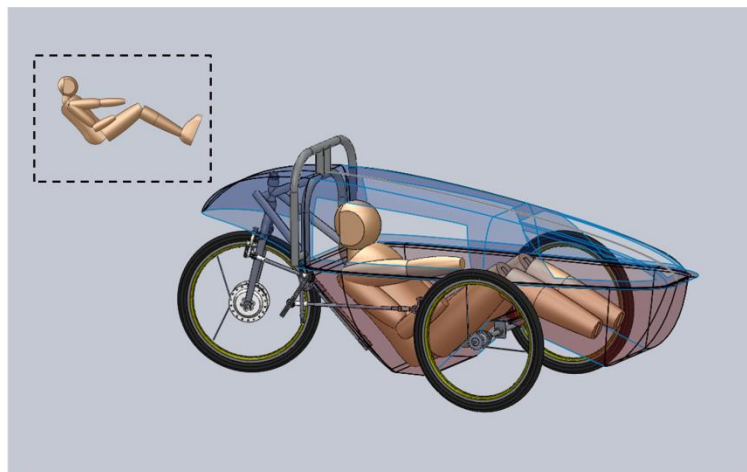


Figura 7 - Estudo ergonômico desenvolvido pela equipe de design da equipe.

Fonte: Fornecido pela Equipe Sparta VE

Tabela 1 - Medidas de antropometria estática.

Fonte: Fornecido pela Equipe Sparta VE

Medidas de antropometria estática (cm)	
Estatura do corpo ereto	160
Comprimento do braço até altura da mão	30
Comprimento do antebraço	24
Largura dos ombros	33.5
Largura do quadril	34
Comprimento coxa	45.5
Comprimento panturrilha	43

1.5.1 O sistema de direção

Como objeto de estudo deste trabalho é o sistema de direção é importante detalhar o que foi feito pela Equipe para a SEMA em 2012.

A Equipe desenvolveu um sistema próprio de direção traseira, baseado em hastes articuladas, obtendo uma relevante economia de peso em relação a um sistema tradicional.

O sistema de direção é composto por um conjunto de barras que permite ao condutor girar a roda traseira, reduzindo consideravelmente o peso do veículo ao eliminar partes como:

caixa de direção e suas componentes. Foram utilizados rolamentos de alta qualidade e diâmetro pequeno para redução do torque resistivo. Apesar desse mecanismo não apresentar a melhor opção no quesito dirigibilidade, manteve-se um excelente nível de confiabilidade e desempenho nas curvas.

No desenho conceitual (Figura 8) observa-se que o sistema foi projetado para ser acoplada à carroceria através da manopla, e conectado ao garfo da roda traseira. Os rolamentos permitem a movimentação das hastes, que resultam na movimentação da roda através dessa conexão com o garfo.

Um ponto importante para a fabricação é a necessidade de realizar uma abertura da carroceria, pois a haste dianteira necessita passar de dentro para fora a carroceria,

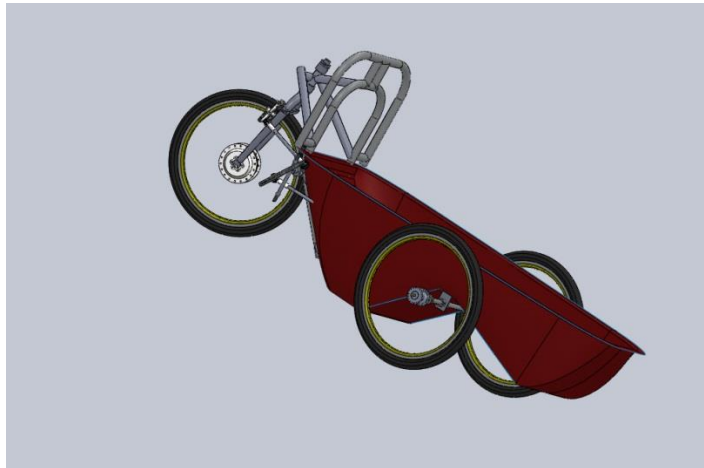


Figura 8 - Conceito do sistema de direção

Fonte: Fornecido pela Equipe Sparta VE

Como os pilotos selecionados são destros, todo o sistema de direção está localizado no lado direito do veículo. Dessa forma, a movimentação da manopla para frente resulta na rotação da roda para direita, movimentando o carro para a direita; quando a manopla é movimentada para trás, em direção ao corpo do piloto, o veículo irá se movimentar para esquerda. Trata-se de um sistema intuitivo, que pode ser associado ao acionamento da sinalização de setas em um automóvel comum, e após um período de treinamento, é possível ganhar habilidade com esse sistema de movimentação das rodas do veículo.

A haste de redução da regulagem (Figura 9) foi projetada para servir como regulador do ângulo de curvatura, o que irá auxiliar na dirigibilidade do veículo. Quanto menor for à regulagem, ou seja, quanto menor a haste, menor será a liberdade de movimento da roda. Este componente foi projetado para atender os 6 metros de curvatura exigida pelo regulamento da competição. Entretanto, o que irá determinar essa regulagem será o piloto: através de testes de direção ele irá verificar qual será a regulagem permite uma melhor dirigibilidade.

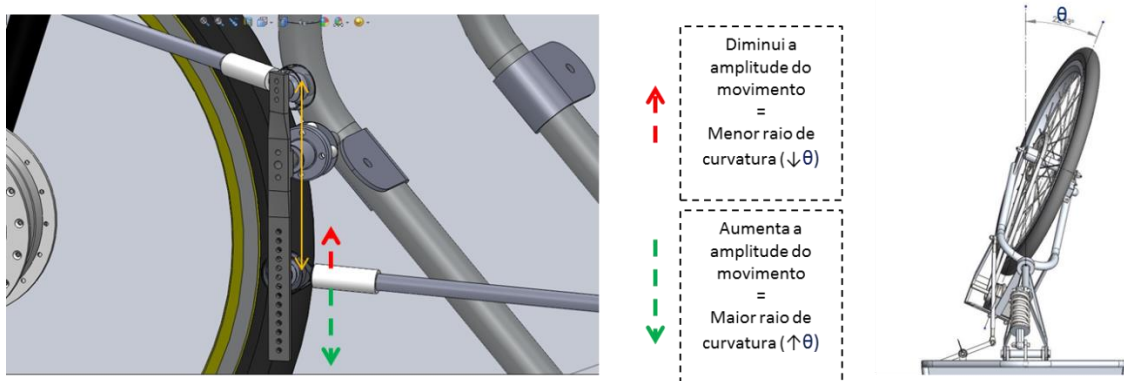


Figura 9 - Redução de regulagem de direção

Os componentes de fixação do sistema ao veículo e os rolamentos (Figuras 10,11,12) foram fornecidos pela empresa IGUS (empresa que opera em mais de 30 países, e oferece ao mercado uma grande variedade de componentes: esteiras, porta-cabos, buchas auto lubrificantes, guias lineares, mancais rotulares, cabos especiais, conectores e sistemas montados).

Essas peças possuem um sistema de casquilhos auto alinháveis feitos de elementos de material polimérico de alta resistência, o que é muito adequado para o projeto visto que ele pesa bem menos que os metálicos, que é a classe de material normalmente aplicada nesses componentes. Além disso, são produtos extremamente fáceis de montar, possuem alta resistência a corrosão e foram desenvolvidos de modo a ter baixa resistência de atrito, não necessitando de lubrificação.

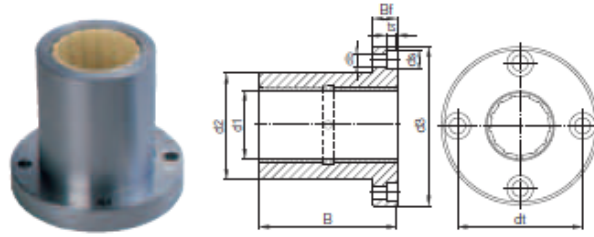


Figura 10 - FJUM 01-20 Flange arredondada

Fonte: Catálogo de produtos retirado do site da IGUS < <http://www.igus.com.br> > (Acessado em Junho 2013)

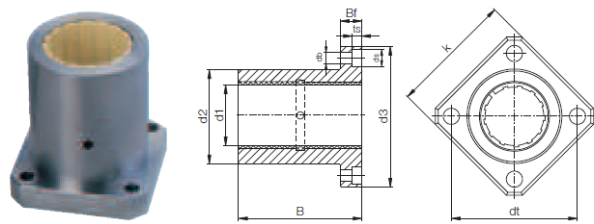


Figura 11 - FJUM 01-20 Flange quadrada

Fonte: Catálogo de produtos retirado do site da IGUS < <http://www.igus.com.br> > (Acessado em Junho 2013)

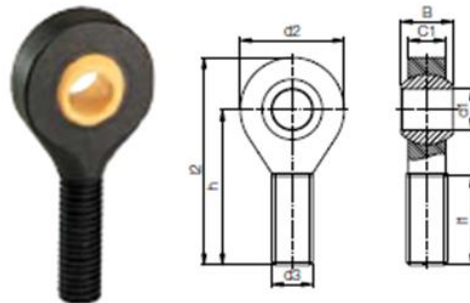


Figura 12 - IGUS KARM Rolamento

Fonte: Catálogo de produtos retirado do site da IGUS < <http://www.igus.com.br> > (Acessado em Junho 2013)

O material utilizado para as hastes do sistema de direção foi uma liga de alumínio 6061-T6. Essa liga se caracteriza por possuir boas propriedades mecânicas com um baixo peso específico. Os rolamentos são constituídos de polímeros de alta resistência e as juntas foram acopladas a carroceria, sendo essa região reforçada.

Nesse projeto básico para a fabricação do veículo que participou da SEMA 2012 não foi adotado nenhum processo específico para a seleção desses materiais, bem como para o processo de fabricação e montagem dos componentes. Na Figura 13 é apresentada a concepção funcional desse sistema de direção.

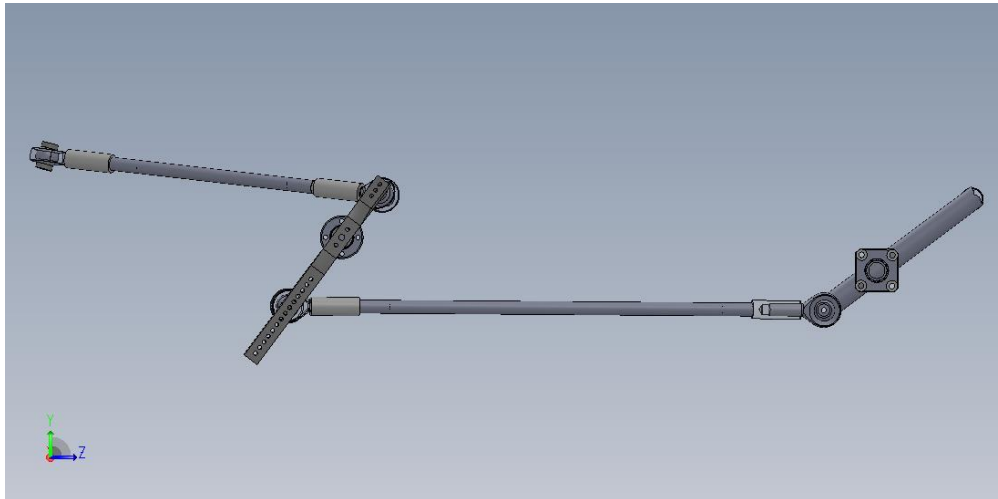


Figura 13 – Concepção do sistema de direção

Fonte: Fornecido pela Equipe Sparta VE

2. Projeto de Produto

1.6 Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP)

A excelência no desenvolvimento de produtos tornou-se uma vantagem competitiva para as empresas, que a cada dia enfrentam maiores demandas de produtos inovadores em um menor espaço de tempo com o menor custo possível. Romeiro *et al.* (2010) afirma que as empresas com melhores práticas e de melhores resultados no desenvolvimento de novos produtos tem implantado um processo formal para servir como guia para o desenvolvimento de seus produtos.

O processo de desenvolvimento de produto (PDP) se relaciona com praticamente todas as funções de uma empresa, caracterizando-se como uma atividade multidisciplinar. Além disso, trata-se de um processo com características *ad-hoc*, em que cada projeto de desenvolvimento pode apresentar características específicas e um histórico particular (PENNO, 2010).

Dieter e Schmidt (2009) destacam três vantagens que o uso do PDP gera. A primeira vantagem foi sumarizada na Figura 14, que mostra que menos de 5% do custo total para produzir um produto está envolvido nas etapas de PDP, ou seja, cerca de 95% do total esta na etapa de manufatura. No entanto, as etapas de PDP acumulam várias decisões que resultam em cerca de 70-80% do custo de produção do produto, ou seja: as decisões feitas na etapa de desenvolvimento podem comprometer a de produção. Sendo assim, pode se entender que as atividades das etapas de PDP representam pouco do custo total do produto, mas as decisões tomadas nessa etapa tem um maior efeito sobre o custo total do produto.

Os autores ainda destacam que o segundo maior impacto do PDP é na qualidade do produto, afirmando que não é possível compensar na manufatura os defeitos introduzidos no processo do projeto. Por fim, eles afirmam que o PDP reduz o tempo necessário para desenvolver e levar ao mercado um novo produto.

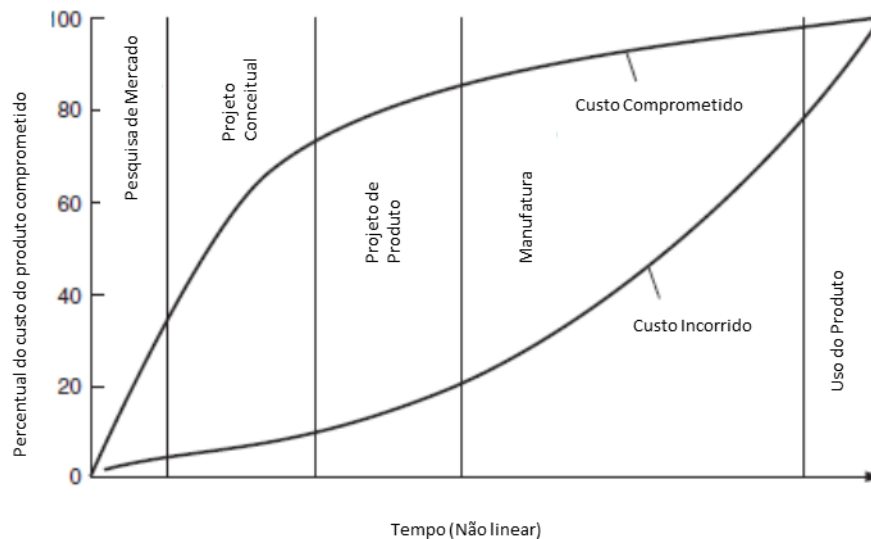


Figura 14- Custo comprometido e incorrido do produto durante o processo de projeto.

Fonte: Adaptado Dieter, 2009.

Portanto, ao adotar o PDP, é importante que exista uma sistematização do desenvolvimento do produto, evitando que o desenvolvimento do projeto se torne uma atividade intuitiva.

Várias metodologias de projeto de produtos têm sido propostas. No entanto, vale ressaltar que elas devem ser adotadas como referencial, visto que cada organização tem suas peculiaridades, assim como cada projeto. Com o tempo, cada empresa deverá desenvolver o seu próprio modelo de desenvolvimento de produtos tomando como referência outros modelos existentes (ROMEIRO *et al.*, 2010).

1.7 Metodologias de Projeto de Produto

Grande parte da literatura dedicada à gestão de desenvolvimento de produtos é voltada para aspectos relacionados aos processos de desenvolvimento, ou seja, encara-se o desenvolvimento de novos produtos como um processo de negócios, no qual se tem entradas (horas de engenharia, conhecimento, normas e padrões, etc.) que são processadas e trazem resultados parciais (por exemplo, um protótipo) ou finais, como o produto lançado no mercado (ROMEIRO *et al.*, 2010).

Em 1989, Yoshikawa publicou um estudo abordando as diversas filosofias utilizadas no desenvolvimento de produtos industriais e as classifica de acordo com cinco linhas ou escolas: a escola semântica, a escola sintática, a escola historicista, a escola psicológica e a escola filosófica.

Na escola semântica o sistema técnico dos produtos pode ser representado pela transformação dos fluxos de energia e materiais, representados pela funcionalidade dos sistemas. A função global do sistema técnico é subdividida em estrutura de sub-funções com o objetivo de identificar os aspectos físicos e funcionais para realizar as modificações desejadas (VICKY, 2011).

A escola sintática preocupa-se mais com os aspectos de procedimento do projetista na busca da solução do que com o objeto de projeto em si. O processo inicia-se com o estudo preliminar de todos os fatores envolvidos no projeto até a elaboração final do produto detalhado, passando por diversas etapas, que são devidamente documentadas.

Os representantes dessa escola são: Asimow (1968), Woodson (1966) e Pahl e Beitz (1996), que defendem o uso de um procedimento sistemático.

Na escola historicista, a importância maior está no conhecimento disponível para o projeto, o que leva a um desenvolvimento pouco prático e difícil de ser realizado. As escolas psicológicas e filosóficas estão mais voltadas ao processo de realização do projeto, sendo que a primeira prioriza a criatividade durante o processo, e a segunda os aspectos mais racionais (VICKY,2011).

Pode-se dizer que o nível de detalhamento do processo metodológico adotado obedece às características do produto a ser desenvolvido (ROMEIRO *et al.*,2010). Ainda segundo o autor, o processo do projeto funciona com as mesmas características dos métodos para solução de problemas, que possuem como pilares a identificação da necessidade, levantamento de informações, concepção, geração de alternativa, determinação da solução e detalhamento.

Asimow apresenta uma abordagem mais ampla do processo de projeto (Tabela 2) em relação aos demais métodos, bem como um aspecto cíclico que aparece como uma constante durante o processo. Etapas como avaliação e revisão repetem-se ao longo do projeto, e é chamada a atenção para o fato de que este processo não é estático ou linear,

apresentando menores ou maiores peculiaridades em função de características próprias do produto a ser concebido e do público ao qual é destinado (ROMEIRO *et al.*, 2010).

Tabela 2 - Processo metodológico proposto por Asimow

Fonte: Medeiros, 1981.

Estudo de exequibilidade	Análise das necessidades	Formulação
	Identificação do problema	Análise e síntese
	Concepção para o projeto	Concepção
	Análise física	Avaliação
	Análise econômica	
	Análise financeira	
Projeto Preliminar	Seleção de concepção	Desenvolvimento
	Modelos matemáticos	
	Análise de sensibilidade	
	Análise de compatibilidade	
	Análise de estabilidade	
	Otimização formal	
	Projeções para o futuro	
	Previsão do comportamento do sistema	
	Verificação da concepção do projeto	
	Simplificação do projeto	
Projeto Detalhado	Preparação para o projeto	Avaliação
	Projeto geral de sub-sistemas	Execução
	Projeto geral de componentes	
	Projeto detalhado das partes	
	Desenhos de montagem	
	Construção protótipo	Revisão
	Programa de testes	
	Análise e revisão	
	Re-projeto	Avaliação
	Revisão	

Medeiros apresentou em 1981 uma extensa revisão sobre as metodologias de processo de projeto, resultando em uma proposta de modelo final (Tabela 3). Abaixo é apresentada a metodologia apresentada por ele, com seu alto grau de detalhamento, principalmente no que tange as etapas de análise. É possível observar, também, que ele busca desmembrar todos os sistemas para que se trabalhe com peças isoladas.

Tabela 3 - Processo metodológico proposto por Medeiros (1981)

Etapa de Identificação	Identificação inicial do contexto de projeto (situação do projeto, processos de solução, produtos e política existentes, mercado e normas de legislação)
	Identificação dos fabricantes e usuários
	Planejamento do trabalho (definição do escopo do projeto, do produto ou sistema de produtos)
	Viabilização do projeto
Etapa de Análise	Análise do processo de trabalho
	Análise das tarefas de comando (importância, frequência e tempo de uso)
	Análise dos fatores antropométricos
	Análise das condições ambientais
	Análise das tarefas de manutenção
	Análise dos fatores morfológicos
	Análise dos fatores de operação (sistema, sub-sistemas e funções técnicas do produto, obsolescência)
	Análise dos fatores de difusão
	Análise dos fatores de produção
	Análise e avaliação dos produtos existentes
	Etapa de Definição dos Requisitos
	Definição dos requisitos e restrições
	Definição de características e sub-sistemas do produto
	Fracionamento e hierarquização dos sub-sistemas do produto
Programação da etapa seguinte	
Etapa de Desenvolvimento	Desenvolvimento de alternativas de concepção do produto como um todo
	Avaliação e seleção de alternativas de concepção
	Avaliação e seleção de alternativas para o produto
	Desenvolvimento de alternativas para cada sub-sistema
	Detalhamento da solução para cada sub-sistema
	Desenvolvimento de alternativas para cada componente
	Avaliação e seleção de alternativas para cada componente
	Detalhamento da solução para cada componente
	Desenvolvimento de alternativas para cada peça
	Avaliação e seleção de alternativas para cada peça
	Detalhamento da solução para cada peça
	Desenvolvimento da concepção formal - avaliação da compatibilização dos sub-sistemas - execução de modelos e desenhos
Etapa de Testes	Construção de protótipo(s) das solução(ões) adotada(s)
Revisão de Projetos	Revisão da documentação

Rozenfeld (2006) apresentou um trabalho mais recente sobre o PDP, no qual apresenta um modelo detalhado para o desenvolvimento de novos produtos, com base em três macroprocessos (pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento) e respectivos estágios, atividades e ferramentas utilizadas nesse processo (ROMEIRO *et al.*, 2010).

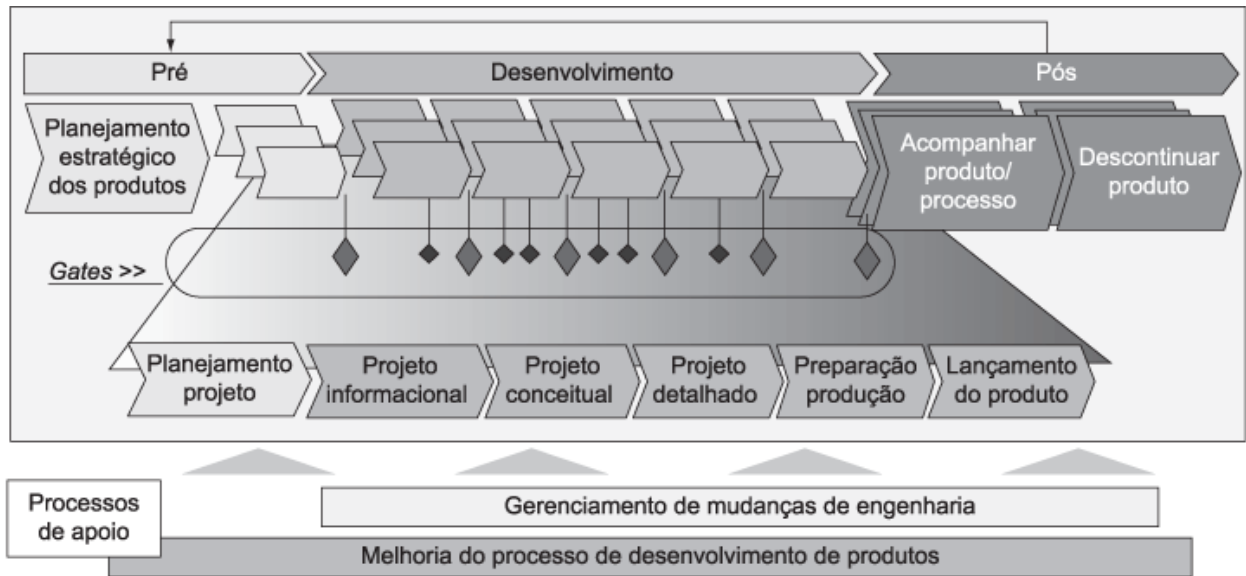


Figura 15 - Modelo de desenvolvimento de produtos proposto por Rozenfeld et al. (2006)

Cada macrofase é dividida em fases. Assim, em cada fase temos um conjunto de resultados e metas esperadas para que se possa avançar no processo.

O pré-desenvolvimento possui a fase de planejamento estratégico, no qual a estratégia da empresa é traçada determinando o seu portfólio de produtos.

A macrofase de desenvolvimento está dividida entre as fases de: planejamento do projeto, projeto informacional, definição do conceito, projeto detalhado, preparação da produção e finaliza com o lançamento do produto. Abaixo iremos descrever cada uma das atividades envolvidas nessas fases.

Planejamento do projeto (anteprojeto): definição do escopo do projeto, a viabilidade-econômica, os recursos humanos a serem mobilizados, os prazos de execução, os custos esperados e os riscos implicados.

Projeto informacional: transformam em especificações as informações da fase anterior, detalha os requisitos do produto e coleta informações sobre o usuário do produto.

Projeto conceitual: transforma a linguagem formal em geométrica, definição da estrutura funcional do produto após análise das diferentes soluções levantadas, estudo ergonômico, busca por fornecedores chave.

Projeto detalhado: descrição completa do produto, incluindo seleção de materiais, processos de fabricação e dimensionamento do componente, documentando essas informações, realização de testes.

Preparação para produção: mobilização de recursos para a produção, a preparação das máquinas de fabricação, produção de um lote piloto, desenvolvimento dos fornecedores e treinamento de pessoal.

Lançamento do produto: desenvolvimento dos processos de comercialização, vendas, distribuição, atendimento ao cliente e assistência técnica.

Por fim, temos a macrofase de pós-desenvolvimento que é subdividida nas fases de acompanhamento do produto e descontinuação do produto. Na primeira, é feita a avaliação comercial, ou seja, monitoram-se os indicadores de venda para saber a aceitação e avaliação do produto por parte do consumidor final, além disso, também são feitas auditorias no processo de produção. A última fase avalia o momento de retirar o item do mercado e planejar o fim da sua produção, trabalhando com conceitos de logística reversa para retirada do produto do mercado. Por fim, também é feita uma avaliação final do produto e encerra-se o projeto.

1.8 Metodologia adotada no projeto

A equipe de competição pode ser comparada a uma organização, visto que possui uma equipe e objetivos a serem atingidos. Portanto, é necessário adequar os modelos de desenvolvimento de produto ao cenário da equipe, que possui poucos recursos, tanto financeiros quanto técnicos, visto que eles dispõem de um número restrito de equipamentos para fabricação e montagem dos componentes do veículo. Além disso, a equipe é formada por estudantes da graduação, que não possuem ainda uma vasta experiência no desenvolvimento de soluções para projetos. Portanto, sistematizar através dos métodos e ferramentas de desenvolvimento de produto é de grande importância para se buscar a excelência do produto.

Dessa forma, a filosofia adotada foi a da escola sintática, que esta focada no processo de produto, sendo esse o objetivo desse trabalho. Aplicar no sistema de direção do veículo desenvolvido pela equipe o processo sistemático de PDP visa desenvolver um projeto

detalhado e documentado ao final deste trabalho, atendendo as restrições da competição e considerando-se as limitações da equipe.

O trabalho irá se concentrar na macrofase de desenvolvimento, visto que as fases de pré-desenvolvimento e pós-desenvolvimento não se aplicam ao contexto de uma equipe de competição.

Esta macrofase foi decomposta nas seguintes etapas: planejamento do projeto (anteprojetos); projeto preliminar; projeto conceitual e projeto detalhado.

A metodologia escolhida está de acordo com a proposta para a Seleção de Materiais e Processo de Fabricação que Ashby (1999) apresenta em sua obra, em que analisa a progressão das etapas de seleção ao longo do desenvolvimento de um produto, conforme Figura 16.

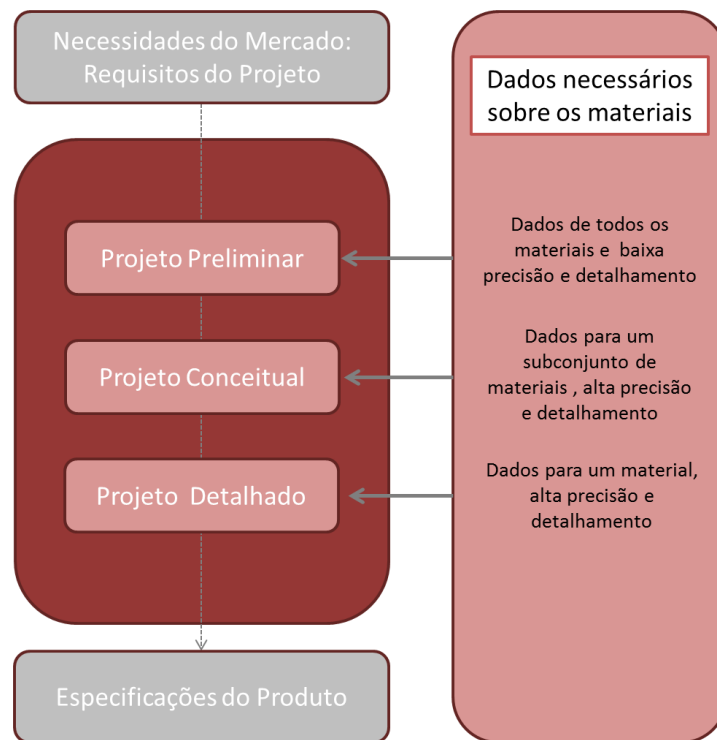


Figura 16 – Seleção de Materiais ao longo do PDP.

Fonte: Adaptado Ashby, 2007.

O detalhamento do que consiste cada etapa, e de quais ferramentas podem ser usadas serão descritas a seguir.

1.8.1 Planejamento do projeto (anteprojeto)

Compreende a etapa de levantamento das necessidades, determinação dos requisitos e restrições, determinação da estrutura de funções do produto considerando-se o estado da arte, ou seja, levantar as soluções que já existem para cada função do produto, e a partir delas determinar os princípios de solução.

1.8.2 Projeto preliminar

Nessa etapa tem-se o estudo de viabilidade econômica, e também a validação das informações obtidas na etapa anterior. São elas as necessidades, requisitos e restrições do produto. A ferramenta de desdobramento da qualidade pode ser usada para transformar as informações validadas nessa etapa em requisitos técnicos de projeto. É necessário também definir qual o melhor princípio de solução para o projeto, e também será feito o estudo ergonômico e um desenho preliminar.

1.8.3 Projeto conceitual

Nessa etapa será feito a formalização da análise arquitetônica do produto, onde será definida a forma geométrica do produto, detalhando suas dimensões gerais e de seus componentes, onde poderão ser visualizadas as interações entre os diversos componentes do produto, cada um deles com suas funções específicas. Além disso, será feito a seleção de materiais e processos de fabricação, através da metodologia apresentada por Ashby. Deve ser obtido também o desenho do conjunto, apresentado a vista explodida e a visão isométrica do produto.

Deve-se ainda fazer a verificação dos méritos da montagem e da fabricação do produto, segundo os requisitos do produto e as restrições do projeto após o dimensionamento do sistema, utilizando a ferramenta chamada Projeto para Montagem (*Desing for Assembly - DFA*).

1.8.4 Projeto detalhado

Como o próprio nome diz, nessa etapa tem-se o detalhamento do produto, apresentando as peças, os materiais e processos de fabricação selecionados, assim como o desenho técnico de cada peça individualmente, apresentando as tolerâncias e considerações para fabricação.

A Tabela 4 resume as etapas que serão realizadas ao longo deste trabalho.

Tabela 4 - Resumo das atividades na macrofase de Desenvolvimento

Macrofase: Desenvolvimento	
Fases	Atividades
Planejamento do projeto	Levantamento das necessidades
	Determinação de requisitos
	Determinação das restrições
	Definição da estrutura de funções do produto
	Estudo do estado da arte
	Determinação dos princípios de solução
Projeto Preliminar	Definição do princípio de solução para o projeto
	Estudo de viabilidade econômica
	Transformação das informações em requisitos técnicos para o projeto
	Execução do desenho preliminar
	Estudo ergonômico
Projeto Conceitual	Análise arquitetônica do produto
	Seleção de materiais
	Seleção de processo de fabricação
	Execução do desenho do conjunto
	Avaliação de mérito da montagem e da fabricação
Projeto Detalhado	Visualização do produto em 3D
	Detalhamento do Produto
	Planejamento do processo de fabricação
	Planejamento da montagem

3. Desenvolvimento

Neste capítulo é apresentada a metodologia aplicada para o desenvolvimento do sistema de direção do veículo seguindo a metodologia definida no capítulo 2, desde sua concepção até o detalhamento. A metodologia a ser seguida possui as seguintes fases na etapa de desenvolvimento: planejamento de projeto, projeto preliminar, projeto básico e projeto detalhado.

1.9 Planejamento do projeto

Nesta etapa foi feito o levantamento das necessidades, requisitos e restrições baseado no regulamento técnico da Shell *Eco-Marathon* e também nos sistemas já existentes no projeto do carro da competição. Em seguida, foi definida a estrutura de funções do produto e foi feito o levantamento dos princípios de solução através de revisão da literatura sobre sistema de direção em triciclos reversos, que é o caso do veículo da equipe.

Assim como qualquer projeto, é preciso levantar as necessidades para ter claro qual o objetivo. Alguns critérios do regulamento técnico da Shell *Eco-Marathon* são essenciais para o desenvolvimento do projeto do sistema de direção. As principais regras para esse projeto estão destacadas abaixo, e foram retiradas do regulamento oficial de 2012.

Artigo 1: Design do Veículo - Generalidades

Durante as fases de design e construção do veículo e de planejamento da competição, as equipes participantes devem dar atenção especial a todos os aspectos da segurança, tanto quanto a segurança dos pilotos, a segurança dos outros membros da equipe e a segurança dos espectadores.

Os veículos do grupo Protótipo devem ter três ou quatro rodas girantes que, em condições normais, devem todas permanecer em contato contínuo com a estrada. (...)

O interior do veículo não deve conter qualquer objeto que possa causar ferimento ao piloto em caso de colisão.

Artigo 3: Rodas, eixos e calotas - Protótipo

Todos os tipos de roda são permitidos.

Pode ser usado qualquer tipo de aro de roda. Os aros devem ser compatíveis com as dimensões dos pneus escolhidos de modo a manter a conformidade com as normas de segurança.

As rodas situadas no interior da carroceria do veículo devem estar isoladas do piloto por um anteparo.

É proibido qualquer manuseio ou manipulação das rodas pelo piloto a partir do momento em que o veículo chega à linha de partida e até que o mesmo cruze a linha de chegada.

Artigo 4: Raio de giro e direção – Protótipo

O raio de giro deve ser suficiente para permitir a ultrapassagem segura, bem como para seguir as curvas da pista.

Caso pareça aos organizadores que o raio de giro de um veículo é insuficiente para a pista, o veículo será solicitado a seguir um curso tipo slalom.

O curso slalom na Ásia e nas Américas requererá um raio de giro de 6 m, na Europa requererá um raio de giro de 12 m. Terá também o objetivo de comprovar as habilidades do piloto e a precisão de sua direção, ou seja, se apresenta jogo excessivo ou retardamento indevido.

Analisado o regulamento da competição, foi necessário analisar os demais sistemas do projeto da equipe para adequar o sistema de direção ao protótipo.

A partir dessas informações pode ser feito o levantamento dos requisitos e restrições do projeto, apresentados na Tabela 5 e 6 respectivamente. Lembrando que requisitos refletem as necessidades e expectativas do cliente em relação ao produto e restrições são fatores internos e externos que limitam o desenvolvimento do produto pela equipe.

Tabela 5 - Requisitos do projeto

Requisitos do projeto
Segurança do piloto, dos outros membros da equipe e dos espectadores
Rodas em permanente contato com o solo
O interior do veículo não deve conter qualquer objeto que possa causar ferimento ao piloto em caso de colisão
É proibido qualquer manuseio ou manipulação das rodas pelo piloto
O raio de giro deve ser suficiente para permitir a ultrapassagem segura, bem como para seguir as curvas da pista.
Raio de giro de 6 m
Leve
Dimensionamento de acordo com os sistemas já projetados do veículo
Redução de perdas de energia

Tabela 6 - Restrições do projeto

Restrições do projeto
Baixa disponibilidade de equipamentos para fabricação
Pouco recurso financeiro disponível
Desenvolver ao máximo peças que podem ser disponibilizada pelos fornecedores parceiros da Equipe
Utilização de recursos internos

Como a escolha da equipe foi de desenvolver um veículo com três rodas, essa revisão apresentará brevemente as características de um triciclo e dos sistemas de direção utilizados nos mesmo. A revisão irá abranger tanto triciclos não motorizados, como motorizados, pois essa busca por soluções irá enriquecer os princípios de solução para o trabalho.

Triciclo é definido por serem veículos de três rodas, podendo ser motorizados ou movidos à tração humana. Eles podem ser classificados pelo seu formato da seguinte forma

- Verticais (Figura 17) - duas rodas na parte traseira e uma roda dianteira, com o condutor montado em um quadro. A direção é feita através de um guidão conectado diretamente a roda da frente, muito semelhante a uma bicicleta.
- Delta (Figura 18) - o que difere do vertical é o posicionamento do quadro, ele possui um formato reclinado. Uma ou as duas rodas traseiras podem ser tracionadas, enquanto a dianteira é utilizada para controlar a direção do veículo. A direção pode ser feita por um

sistema articulado, com alavancas de direção debaixo do assento, ou diretamente na roda dianteira com um guidão.

- Reverso (Figura 19) – possui uma roda traseira e duas dianteiras, por isso é chamado de reverso. Ele possui um formato reclinado com duas rodas guiáveis na frente e uma tracionada atrás. A direção pode ser através de um sistema articulado e uma haste fixada ao eixo ou com duas alavancas de direção, cada conectada a um tubo de direção e uma haste de fixação entre as abraçadeiras do eixo ou ainda com as rodas dianteiras sendo tracionadas e a traseira guiada.



Figura 17 - Modelo de triciclo vertical.

Fonte: Site <www.made4bike.com> (acessado em Junho 2013)



Figura 18 - Modelo de triciclo delta. Esse modelo é conhecido como *handbike*, movido pelo movimento do braço do ciclista.

Fonte: Site <www.bike-on.com> (acessado em Junho 2013)



Figura 19 - Modelo de triciclo revertido usado pela maioria dos protótipos da Shell *Eco-Marathon*

Fonte: Site oficial da Shell *Eco-Marathon*

A maioria dos protótipos usados na Shell *Eco-Marathon* é do formato revertido, isso porque possuem um baixo centro de gravidade, aumentando a estabilidade, principalmente nas curvas, evitando assim as capotagens. Isso se deve ao fato de que o par de rodas dianteiras, combinado com a roda de trás, dá equilíbrio e garante que o carro permaneça fixo ao solo, mesmo em curvas fechadas.

Os dois sistemas de direção mais comuns são pinhão e cremalheira e de esferas recirculantes.

O sistema de pinhão e cremalheira é um mecanismo simples e largamente utilizado na indústria. Um conjunto de engrenagens de pinhão e cremalheira é fixado em um tubo metálico, com cada extremidade da cremalheira saindo do tubo. Além disso, conecta-se a barra de direção a cada extremidade da cremalheira.

O pinhão é fixado à árvore de direção e se movimenta assim que você gira o volante, colocando a cremalheira em movimento. A barra de direção em cada extremidade da cremalheira se conecta ao braço de direção na manga de eixo.

O conjunto de engrenagens de pinhão e cremalheira converte o movimento de rotação do volante de direção no movimento linear necessário para girar as rodas, e, além disso, proporciona uma redução por engrenagens, facilitando a movimentação das rodas (Figura 20).

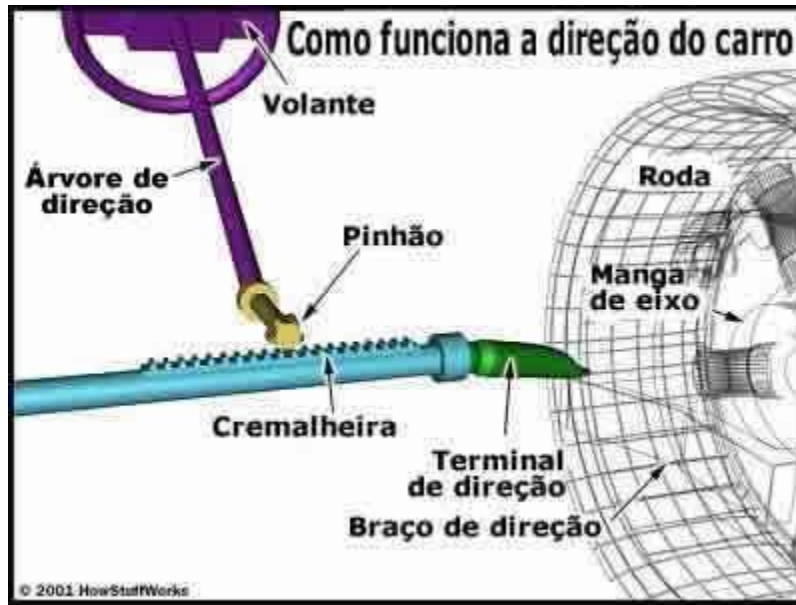


Figura 20 - Esquema do funcionamento do mecanismo de pinhão cremalheira.

Fonte: *How Stuff Works*,2001.

O sistema de direção de esferas recirculantes é um mecanismo muito usado em veículos pesados, como caminhões e utilitários esportivos. O que difere esse sistema do anterior é a articulação que gira a roda, já que esse mecanismo contém uma engrenagem sem-fim. Pode-se segmentar a engrenagem em duas partes. Uma é um bloco de metal com furo rosqueado, que possui dentes de engrenagem em seu lado externo, os quais se acoplam na engrenagem que movimenta o braço *pitman*. O volante de direção se conecta a uma haste com rosca similar a um parafuso que se encaixa no furo do bloco. Quando o volante gira, o sem-fim gira com ele. Em vez de girar e penetrar ainda mais no bloco, como faria um parafuso comum, este é mantido fixo de modo que, quando ele gira, move o bloco, o qual movimenta a engrenagem que gira as rodas (Figura 22).

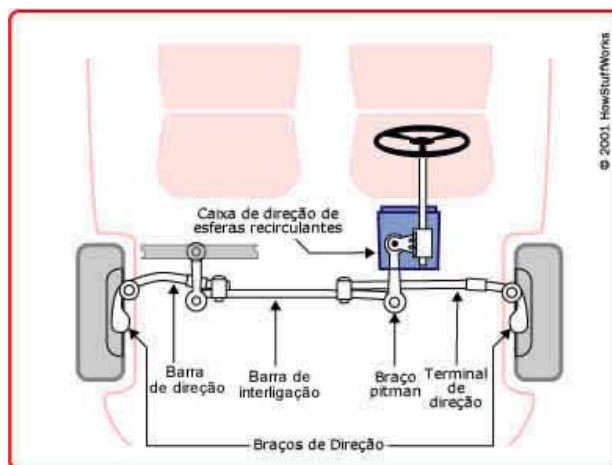


Figura 11 - Esquema do sistema de direção de esferas recirculantes.

Fonte: *How StuffWorks*,2001.

No lugar do parafuso entrar em contato direto com a rosca no bloco, todos os filetes são preenchidos com esferas que recirculam através da engrenagem enquanto ela gira. As esferas têm dois objetivos principais: reduzir o atrito e o desgaste da engrenagem, além de reduzir a folga de acoplamento entre as partes, que é sentida com o movimento de direção do volante, visto que na ausência das esferas, os dentes perderiam o contato uns com os outros por um momento, parecendo que o volante estivesse solto.

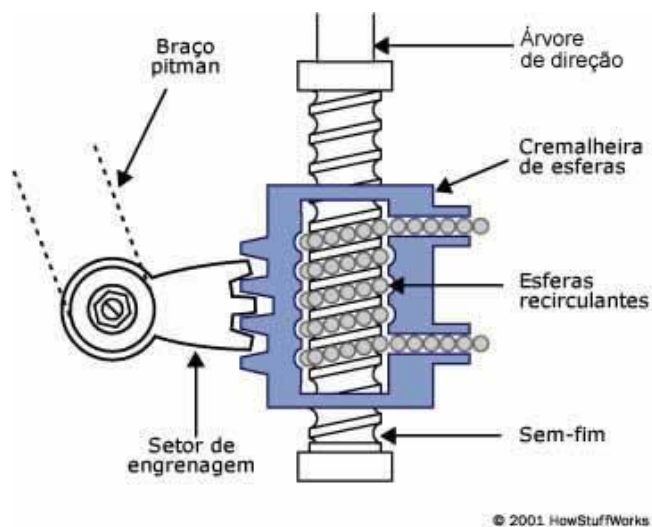


Figura 22 - Detalhamento do mecanismo de esferas recirculantes.

Fonte: *How StuffWorks*,2001.

Além desses sistemas bastante conhecidos, através de buscas com das soluções apresentadas por outras equipes, e da leitura de projetos de graduação anteriormente desenvolvidos na UFRJ, foi possível encontrar uma solução mais simples para o sistema de direção. Nesse mecanismo é utilizado um sistema de hastes articuladas que são anexadas à roda traseira do triciclo.

As hastes articuladas transformam movimentos lineares em movimentos angulares na roda. Ligado a conjuntos de rótulas e barras fixadas na lateral do garfo, essas alavancas transmitem o movimento até a lateral do carro, na alavanca manual (Lopes, 2009). O movimento da manopla para frente e para trás faz girar a roda para a direita e para a esquerda, respectivamente (Figura 23 e 24). Esse não é um movimento intuitivo, mas através da prática é possível adquirir habilidade para o perfeito manuseio do sistema.

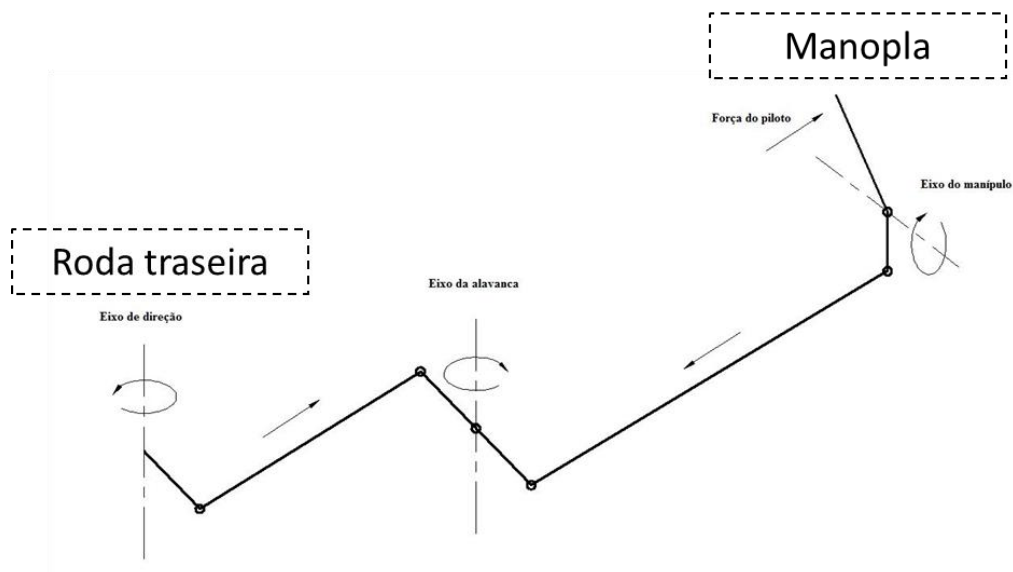


Figura 23 - Diagrama de funcionamento do mecanismo de direção.

Fonte: Adaptado Lopes,2009.

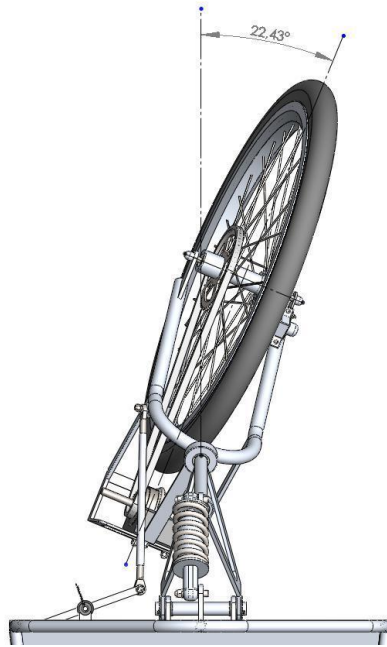


Figura 24 - Movimento da roda traseira.

Fonte: Lopes, 2009.

Dessa forma foi possível obter todas as informações necessárias para concluir a primeira fase de desenvolvimento, podendo ser dada a continuidade ao projeto para a fase preliminar.

1.10 Projeto Preliminar

Nesta etapa transformaram-se os requisitos em informações técnicas para o projeto, definindo assim o princípio de solução para o projeto. Com essas informações foi feito um estudo prévio da viabilidade econômica do projeto.

Validado economicamente, foi dado início então a conceituação do produto, realizando um desenho preliminar, estudo ergonômico e a determinação das dimensões máximas.

Os requisitos foram retirados tanto do regulamento técnico da competição quanto dos sistemas já existentes no veículo da equipe. Dessa forma, diferentemente de produtos que devem ser desenvolvidos a partir de oportunidades do mercado, onde as necessidades dos clientes devem ser traduzidas em requisitos técnicos, o projeto já vem com parâmetros

técnicos bastante definidos, devendo-se apenas hierarquiza-los e agrupa-los para direcionar da melhor forma o projeto conforme pode ser visto na Tabela 7.

Tabela 7 - Requisitos agrupados de acordo com a funcionalidade

Segurança	Interior do veículo sem a presença de objeto que possa causar ferimento em caso de colisão
Dirigibilidade	Rodas em permanente contato com o solo
	Raio de giro de 6 metros
	Interior do veículo sem a presença de objeto que possa causar ferimento em caso de colisão
	Raio de giro deve ser suficiente para permitir a ultrapassagem segura e realizar curvas
Confiabilidade	Materiais adequados para resistir aos esforços
Dimensionamento	De acordo com os sistemas já projetados do carro
Eficiência	Leve
	Redução de perdas de energias
Fabricação	Fabricação Manual

A partir do estado da arte é possível, através da caixa morfológica, identificar as opções para cada função do produto, fazendo-se em seguida o estudo para melhor solução. A matriz esta apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 - Matriz morfológica

Funções	Solução 1	Solução 2	Solução 3
Alimentação	Manual	Manual	Manual
Acionamento	Força Humana	Força Humana	Força Humana
Mecanismo	Pinhão e cremalheira	Hastes articuladas que transformam o movimento linear em circular	Esferas recirculantes
Tração	Rodas dianteiras	Roda traseira	Rodas dianteiras
Fixação	Elementos de união não-permanentes	Elementos de união não-permanentes	Elementos de união não-permanentes

Como o objetivo da competição é a eficiência de energia, todos os sistemas a serem projetados devem sempre ter este foco. Para o sistema de direção, a primeira análise a ser feita é em relação às duas opções quanto ao acoplamento e acionamento das rodas: se será nas duas rodas dianteiras ou se será na roda traseira.

No momento da curva para realizar uma trajetória perfeita, as rodas giram com angulações diferentes (Figura 25), o que faz com que elas percam o seu paralelismo. Essa pequena diferença, gera um atrito com o solo que irá resultar em perda de eficiência de movimento (energia do sistema). Quando o mecanismo atua na roda traseira, esse fenômeno não é observado (Figura 26).

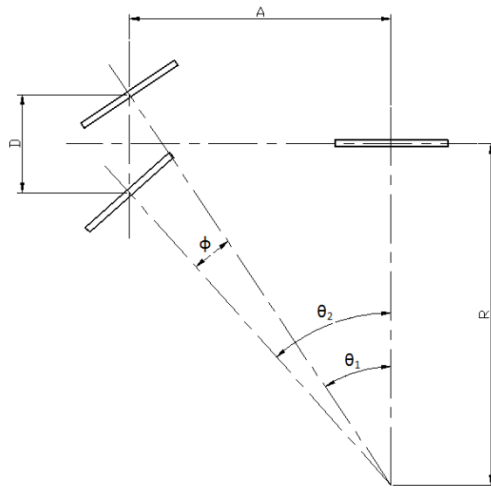


Figura 25 – Defasagem do ângulo de direção das rodas. Fonte (Lopes, 2009)

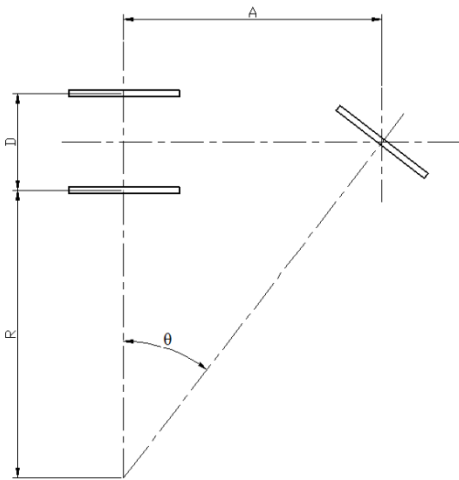


Figura 26- Ângulo de direção da roda traseira. Fonte (Lopes, 2009).

No entanto, esse problema cinemático já está resolvido, visto que os automóveis atuais possuem um mecanismo que possibilita que as rodas girem com ângulos diferentes para eliminar esse atrito resultante dessa defasagem.

A direção usando hastes articuladas impõe um menor número de componentes, já que não tem a presença da caixa de direção e seus componentes. Dessa forma, analisando o quesito eficiência, a opção pela direção traseira, e conseqüentemente, pelas hastes articuladas, apresenta-se como a melhor escolha.

Ainda assim é necessário analisar o quesito da dirigibilidade, pois ela também está ligada à eficiência total do sistema. A direção traseira torna a dirigibilidade mais difícil na saída das curvas e, também, por não permitir um modo de direção intuitiva (piloto), visto que não é o modelo similar aos veículos que estamos acostumados, que possuem direção dianteira. No entanto, como se trata de uma competição, e de uma utilização esporádica, a questão da dirigibilidade pode ser contornada com os treinos de dirigibilidade feitos pelo piloto. Além disso, a direção traseira impõe questões quanto ao sistema de transmissão. No entanto, a escolha do *hub motor*, elimina a necessidade de um sistema de transmissão.

Analisado esses pontos, verifica-se que para atender melhor o quesito principal do projeto, que é de eficiência, a escolha da solução dois é a mais adequada, visto que economiza energia por ser um sistema mais simples (menos componentes), evitando perdas de

energia. Além disso, não necessita de um sistema de transmissão, o que também resulta em diminuir ainda mais o peso, como também elimina as perdas de energia associadas a um sistema de transmissão.

A questão da dirigibilidade é o principal inconveniente dessa escolha, mas como a velocidade não é alta durante a competição, onde é feita uma média de 25 km/h, é possível treinar a dirigibilidade com os pilotos da equipe sem colocá-los em risco.

Definida a solução foi feito o estudo ergonômico e foram analisadas as dimensões máximas do sistema, para se concluir essa etapa com a validação da viabilidade técnica e econômica do projeto.

A ergonomia pode ser definida como a disciplina científica interessada na compreensão das interações entre os humanos e outros elementos de um sistema. É o campo profissional que aplica teoria, princípios, dados e métodos para projetar objetivando aperfeiçoar o bem-estar humano e o desempenho geral do sistema.

O estudo ergonômico pode ser bem complexo, portanto não será possível abranger nesse trabalho o estudo aprofundado da ergonomia do sistema de direção. Iremos usar a estratégia de incorporar os requisitos antropométricos ao longo do desenvolvimento da concepção do produto.

Tendo em vista essas informações, é necessário validar o estudo econômico do sistema para dar prosseguimento ao projeto.

O estudo econômico de produtos para o mercado consumidor deverá contemplar a elaboração de um plano de investimento necessário para viabilizar o negócio. Deve ser realizado considerando, por exemplo, um tempo médio de cinco anos, procurando mensurar a capacidade de pagamentos com recursos próprios e de terceiros, o fluxo de caixa do projeto, além de indicadores econômico-financeiro (ROMEIRO *et al.*, 2010).

Os investimentos principais necessários para desenvolver um produto são: aquisição ou adequação de infraestrutura (máquinas, equipamentos, insumos), treinamento de recursos humanos, construção de protótipos, realização de testes e necessidade de capital de giro.

Dentre os principais indicadores que devem ser avaliados para verificar a viabilidade do projeto são:

- Período de *payback*: mede o tempo de retorno do investimento ao investidor, portanto, quanto menor o período, melhor.
- Valor presente líquido (VPL): determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada, menos o custo do investimento inicial. O VPL deve ser maior ou igual a zero para ser viável.
- Retorno sobre o investimento (ROI): é a relação entre o dinheiro ganho ou perdido através de um investimento, e o montante de dinheiro investido.
- Taxa interna de retorno (TIR): é uma taxa de desconto hipotética que, quando aplicada a um fluxo de caixa, faz com que os valores das despesas, trazidos ao valor presente, seja igual aos valores dos retornos dos investimentos, também trazidos ao valor presente. Um projeto é atrativo quando sua TIR for maior do que o custo de capital do projeto.

No contexto de equipes de competição, no qual elas não possuem fins lucrativos, ou seja, não obtém nenhum retorno financeiro dos projetos, e também não possui como objetivo a produção em escala industrial (mercado), a análise desses indicadores não será necessária.

Para o contexto da Equipe o objetivo será planejar o quanto antes a estrutura de custos que viabilize a execução do projeto, de modo obter parcerias com fornecedores ou tentar captar recursos adicionais, constituindo-se assim uma rede de patrocinadores.

Novamente, pode se ver a importância de sistematizar o PDP para que os retrabalhos e custos inesperados não ocorram, devido ao orçamento limitado com o qual a equipe trabalha.

Dentro deste cenário, observa-se que a análise econômica para equipes de competição é mais simples, sendo necessário analisar os recursos necessários para adequação da infraestrutura, treinamento de recursos humanos, construção de protótipos e realização de testes.

O sistema de direção apresenta as seguintes peças chave: hastes e rolamentos. Como a equipe possui parceria com a IGUS, é possível ter custo zero na aquisição dos rolamentos.

Sendo assim os custos serão aqueles relativos às hastes (aquisição de material e processos de usinagem e montagem). Além disso, os custos com as etapas de fabricação não serão contabilizados pela Equipe, visto que será utilizada a estrutura de laboratórios da Universidade. No entanto, do ponto de vista global, estes custos da Universidade deverão ser contabilizados, tais como: energia elétrica, utilização de máquinas e ferramentas, mão-de-obra dos técnicos e professores participantes do projeto.

Não há custos expressivos com treinamento dos integrantes da equipe e realização de testes. Dessa forma o custo principal refere-se à aquisição do material da haste.

1.11 Projeto Conceitual

Tendo em vista o princípio de solução e os requisitos técnicos especificados na elaboração do sistema, nessa etapa o projeto começa a tomar corpo. Nessa etapa é feita a escolha preliminar dos materiais e processos de fabricação envolvidos. É apresentado ao final um desenho técnico do conjunto, com perspectiva isométrica e vista explodida. E por fim é feita a avaliação quanto ao mérito da montagem do sistema.

O sistema foi projetado levando em consideração os outros sistemas já projetados do veículo, e o seu conceito pode ser visto na Figura 27. Tendo em vista esta concepção, e o seu dimensionamento, é possível fazer a seleção dos materiais para o sistema, e assim buscar o melhor desempenho do projeto. A seleção do material esta também ligada aos processos de fabricação requeridos.

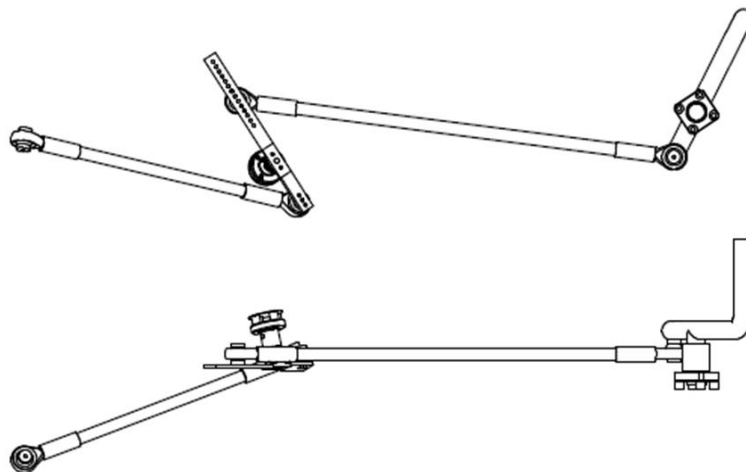


Figura 27 - Concepção do sistema de direção

1.11.1 Seleção de Materiais

A metodologia desenvolvida por Ashby em 1992 de seleção de materiais foi usada para identificar a melhor escolha dos materiais dos componentes.

Cada material pode ser caracterizado por uma série de atributos, como por exemplo: densidade, módulo de elasticidade e resistência. Durante a seleção de materiais, um conjunto de critérios deve ser adotado, e em muitos casos os atributos desejados possuem características conflitantes entre si, dessa forma é necessário trabalhar para aperfeiçoar a escolha. Além dos atributos técnicos do material, também deve se levar em consideração o custo e a disponibilidade daquele material ser encontrado no mercado.

A metodologia em questão desenvolve Índices de Mérito, obtidas a partir de equações que buscam conectar as propriedades que irão maximizar o desempenho do material para uma função específica. Esse índice de mérito será analisado a partir dos Mapas de Propriedades de materiais, que foram idealizados com o intuito de agrupar todas as famílias de materiais em gráficos, onde os eixos representam as propriedades que precisam ser maximizadas ou minimizadas.

A vantagem dos mapas de propriedades é o fato de tornar mais fácil a visualização permitindo aos projetistas uma escolha otimizada, visto que há uma gama muito grande de materiais disponíveis com um número significativo de combinações de propriedades e que permite encontrar os materiais que apresentam o melhor compromisso entre as propriedades requeridas pelo projeto daquele componente (função).

A estratégia desenvolvida por Ashby para a seleção de materiais esta sumarizada na Figura 28.

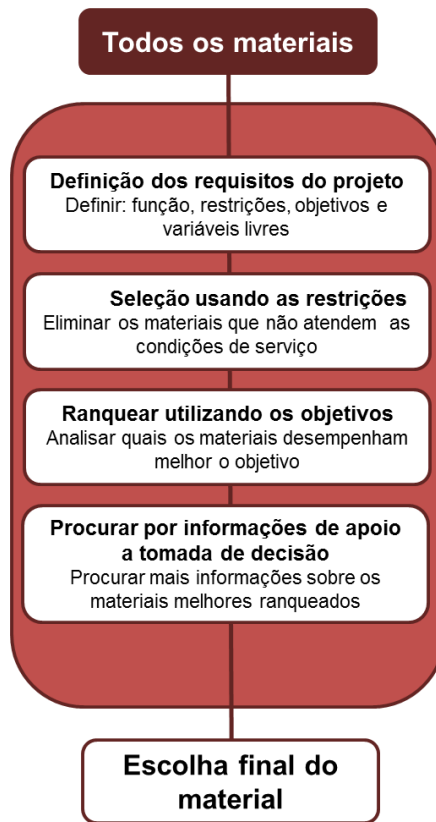


Figura 28 - Estratégia de seleção de materiais.

Fonte: Adaptado de Ashby (2007)

Para definir as condições de contorno do problema, Ashby faz uso da Tabela 9, que deixa bem claro qual a função, restrição, objetivos e variáveis livres que podem ser ajustadas para conseguir atingir a melhor relação entre os atributos do material para aquele objetivo.

Tabela 9 - Tradução dos requisitos do produto

Fonte: Adaptado de Ashby (2007)

Função	O que o componente faz?
Restrições	Quais condições não são negociáveis no projeto? E quais são negociáveis mas são desejadas no projeto?
Objetivo	O que deve ser maximizado ou minimizado?
Variáveis livres	Quais os parâmetros do problema o projetista esta livre para mudar?

Na Figura 29 temos o conjunto de componentes do sistema e sua descrição esta apresentada na Tabela 10.

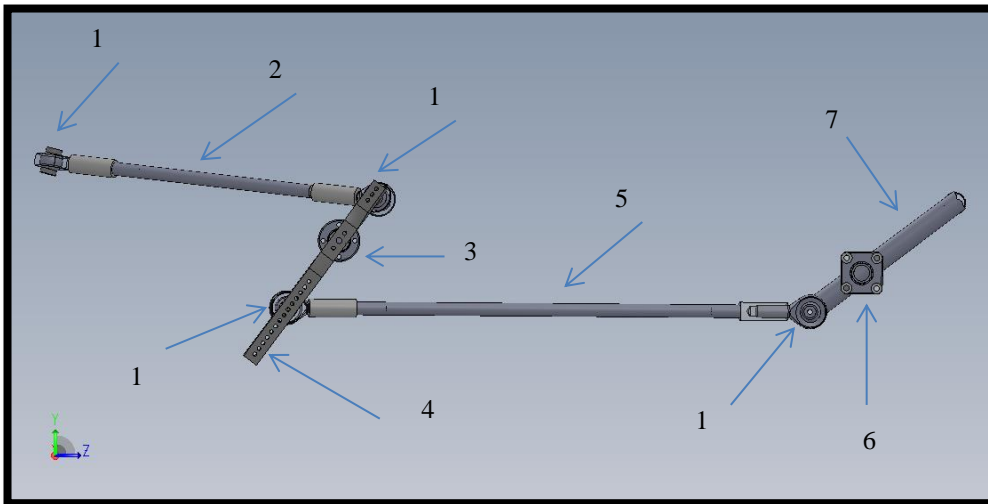


Figura 29 – Conjunto dos componentes

Tabela 10 - Descrição dos componentes

Número	Componente
1	IGUS KARM
2	Tubo de direção traseiro
3	IGUS FJUM Flange arredonda
4	Regulagem de direção
5	Tubo de direção dianteiro
6	IGUS FJUM Flange quadrada
7	Manopla

A seleção de materiais será definida pelo estudo do tubo de direção traseiro, dianteiro, regulagem da direção e da manopla.

A análise estrutural do sistema indicou que os componentes estão submetidos predominantemente a carregamentos axiais de tração e de compressão, dependendo na movimentação da manopla, e a carga máxima aplicada nesses componentes (hastes) é da ordem de 49,1 N.

A análise estrutural feita para o projeto mecânico não contemplou as análises de fadiga, tendo em vista o tempo limitado da competição, admitindo-se um tempo curto o suficiente para que não ocorra fadiga nesses componentes. Portanto, o foco foi na resistência mecânica e rigidez do componente, procurando-se o material mais adequado para esta aplicação específica.

O processo de seleção dos componentes do ponto de vista de resistência, seja em tração ou compressão é o mesmo, visto que as funções, restrições, objetivos e variáveis livres são equivalentes. Em operação esses componentes estão submetidos tanto a um carregamento de tração (Figura 30a), quanto um carregamento compressivo (Figura 30b), dependendo da direção de acionamento da manopla.

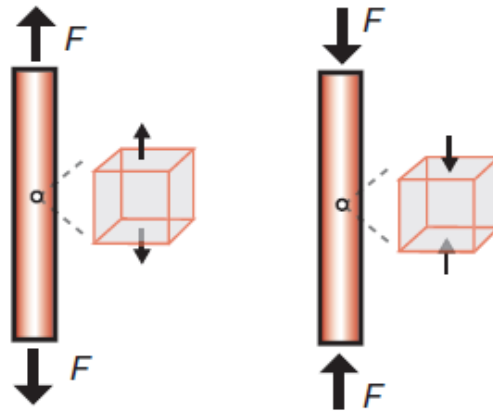


Figura 30 - (a) Tirante sofrendo carregamento trativo (b) coluna recebendo carregamento compressivo

Fonte: Ashby (2007)

Dessa forma na Tabela 11 foram montadas as condições de contorno para a seleção do material.

Tabela 11 - Tradução dos requisitos do sistema de direção

Função	Haste de direção, redução regulagem e manopla sob carregamento axial trativo/compressivo
Restrições	Os componentes devem suportar cargas de tração e compressão (F) sem escoar
	O comprimento (L) da barra é especificado
Objetivo	Minimizar a massa (m)
Variáveis Livres	Seção da barra A
	Escolha do material

O objetivo, portanto, é encontrar o índice que satisfaça essa situação, e para isso foi necessário buscar uma equação que possua a variável a ser minimizada, que é a massa dos componentes, de modo que ele possa suportar a carga máxima de operação sem escoar, mas que tenha o menor peso.

A partir da equação da densidade (ρ), temos a razão entre a massa (m) e o volume, e considerando o volume a razão entre a área da seção transversal (A) do tirante e o comprimento (L) do material temos a equação 1 é:

$$m = AL\rho \quad (\text{Equação 1})$$

O comprimento L e a força são restrições do projeto e não podem ser modificados. A área, onde a variável livre é o raio do tirante irá definir se a área transversal do tirante irá suportar o carregamento. O material a ser escolhido deve suportar a carga F, de modo que pela equação de tensão temos que:

$$\frac{F}{A} \leq \frac{\sigma_f}{S} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde σ_f representa a tensão limite de escoamento do material e S o coeficiente de segurança. Eliminando A entre as duas equações temos que:

$$m \geq (F)(L) \left(\frac{\rho}{\sigma_f} \right) \quad (\text{Equação 3})$$

Observe que F representa o carregamento específico, L representa o comprimento da haste, e os termos do último parêntese representam as propriedades do material. Dessa forma, podemos observar que o tirante mais leve que suportará o carregamento é aquele que possuir o menor valor de da razão $\left(\frac{\rho}{\sigma_f}\right)$, ou seja, este é o indicador que deve ser minimizado. No gráfico da tensão – densidade o inverso dessa razão deverá ser maximizado, portanto o índice do material (M) é:

$$M = \left(\frac{\sigma_f}{\rho}\right) \quad \text{(Equação 4)}$$

O índice pode ser plotado no gráfico (escala logarítmica), seguindo a equação 5.

$$\text{Log}(\sigma_f) = \text{Log}(\rho) + \text{Log}(C) \quad \text{(Equação 5)}$$

Essa linha guia possui uma inclinação de 1, que representa a família de linhas paralelas que pertencem a esse índice. Todos os materiais que tangenciam a linha apresentam desempenho (performance) equivalentes, os acima da linha são ainda melhores, e o abaixo piores. O gráfico tensão – densidade para as diversas famílias de materiais de uso em engenharia esta representado na Figura 31.

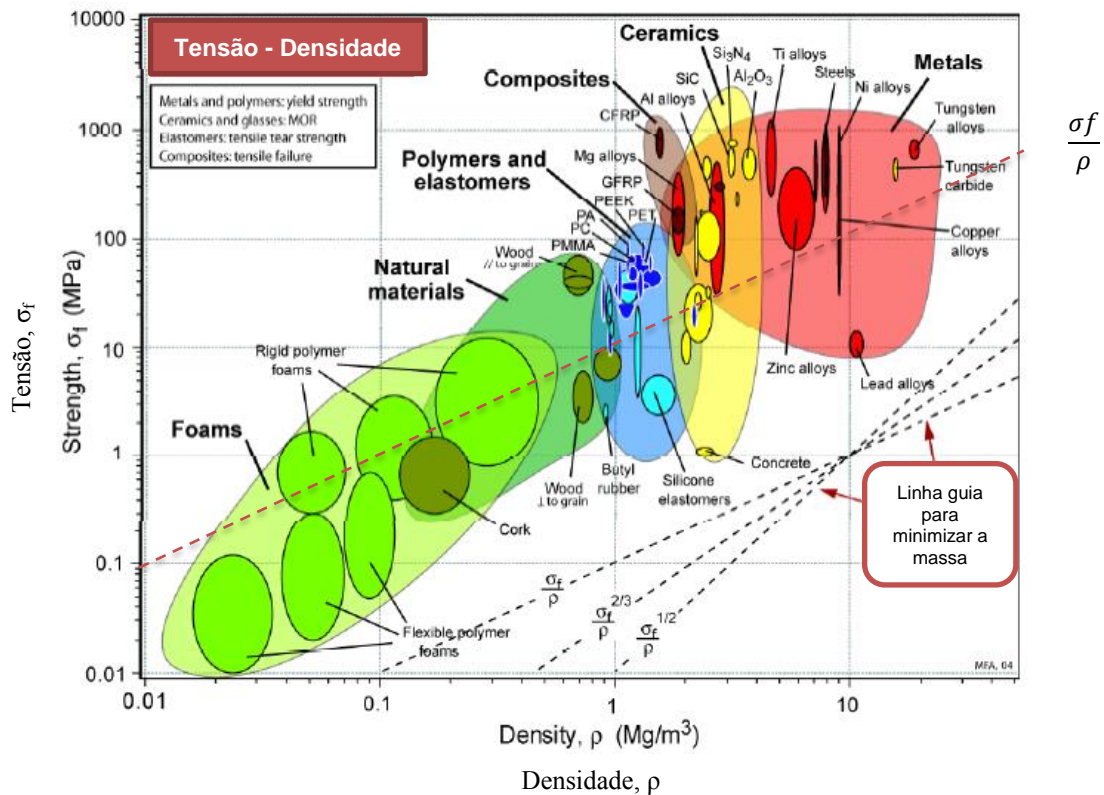


Figura 31 - Mapa de Propriedade de Materiais : Tensão Limite de Escoamento-Densidade

Fonte: Ashby (2007)

Polymers and elastomers : polímeros e elastômeros
Ceramics: cerâmicos
Composites: compósitos
Metals: metais
Wood: madeira
Al alloys: ligas de alumínio
Ti alloys: ligas de titânio
Mg alloys: ligas de magnésio
Steel: aço
 CFRP: polímeros reforçados com fibras de carbono

Os materiais que estão na mesma linha desempenham igualmente bem a função, ou seja, são resistentes e leves. Observe que um material que apresenta o índice $M=1$ possui um décimo do peso em relação daquele que possui índice $M=0.1$, ou seja, quanto mais acima da linha mais leve e de maior a resistência terão os materiais.

Observa-se que o uso de materiais cerâmicos não é adequado para o projeto, pois são materiais frágeis que no caso de algum eventual impacto pode não suportar a carga e fraturar. Os polímeros, embora apresentem um valor representativo do índice, apresentam instabilidade dimensional, e baixa resistência à fadiga. A madeira apresenta limitação quanto a sua fabricação do componente. Portanto, a seleção ficará restrita aos metais e dos materiais compósitos.

Para comparar os materiais e fazer uma análise crítica para a seleção, foi montada a Tabela 12 que reúne as principais características e comentários sobre cada uma das escolhas, hierarquizados pelo índice do material (M).

Tabela 12 - Análise crítica dos materiais que atendem ao projeto

Material	Tensão Limite de Escoamento, σ_f (Mpa)	Densidade, ρ (Mg/m ³)	Fator de forma	Índice	Comentários
CFRP (Polímero reforçado com fibra de carbono)	300-450	1.5-1.6	4.25	281	Alto preço, o peso depende do uso e do projeto, absorção depende do projeto, inúmeras possibilidades de construção, manutenção muito difícil
Liga Ti	930-980	4.42-4.43	5.9	221	Alto preço, leve, boa absorção de impacto, grande elasticidade, difícil manutenção, não oxida
Aços	770-990	7.82-7.83	7.5	126	Preço alto, pesado, fácil manutenção, sujeito a oxidação
Ligas de Al	240-260	2.69-2.71	5.9	96	Preço baixo, leve, menos elástico que o aço, difícil manutenção, baixa oxidação, conformação fácil
Ligas Mg	160-170	1.80-1.81	4.25	94	Alto preço, boa resistência a corrosão, alta resistência ao impacto, baixa ductibilidade

O CFRP (polímero reforçado com fibra de carbono) apresenta complexidade na sua fabricação, principalmente no que diz respeito à usinagem e conexão das peças durante a montagem, o que para as limitações da equipe quanto à fabricação torna a sua escolha inadequada. A aquisição no mercado é problemática, tendo em vista a pequena quantidade de material necessária para a realização dos componentes.

Em seguida, considerando-se o valor do índice estão as Ligas de Titânio. Entretanto, elas possuem um alto preço, e assim também foram descartadas nessa escolha para o projeto.

Os aços apresentam a terceira melhor escolha, mas os aços classificados são aqueles de alta resistência, que possuem um preço bastante elevado. Além disso, estes aços não estão disponíveis no mercado, considerando-se os requisitos de dimensões, geometria e a quantidade (lotes pequenos). Além disso, esses aços para alcançar valores elevados de resistência mecânica (Limite de Escoamento) no componente final precisam de outras

etapas no processo de fabricação - tratamento térmico (recozimento – usinagem – têmpera): antes da usinagem eles deverão sofrer tratamentos de recozimento para diminuir a sua dureza, seguindo-se de têmpera para restituir sua resistência mecânica elevada.

A escolha que melhor se adequa ao contexto da equipe são as ligas de alumínio, visto que possui um vasto número de fornecedores a preços acessíveis. Além disso, as ligas de alumínio podem ser encontradas na sua condição de endurecimento sem a necessidade de tratamento térmico, reduzindo seu custo de fabricação.

A escolha de ligas de Magnésio também se apresenta como boa escolha. No entanto, há uma maior dificuldade quanto aos fornecedores dessas ligas, e em geral os preços são maiores quando comparado com as ligas alumínio.

O mesmo índice se aplica no caso da resistência quando são consideradas as cargas de compressão, e assim não se faz necessário repetir o método.

Uma segunda análise deve ser feita em relação aos carregamentos compressivos: é que as cargas podem resultar em flambagem do componente, característica associada à rigidez do componente. A Tabela 13 apresenta as condições de contorno do problema.

Tabela 13 – Tradução de requisitos

Função	Haste de direção e manopla sob carregamento compressivo
Restrições	O comprimento (L) da barra é especificado
	Não pode flambar com o carregamento
Objetivo	Minimizar a massa (m)
	Maximizar a esbeltez
Variáveis Livres	Seção da barra A, onde $A=\pi r^2$
	Escolha do material

Dessa forma será necessário encontrar a fórmula algébrica que irá relacionar os parâmetros que devem ser minimizados/maximizados com as restrições. O objetivo é minimizar a massa m, que é representada pela função algébrica da Equação 6.

$$m=AL\rho=\pi r^2 L\rho \quad (\text{Equação 6})$$

Onde r representa o raio da área da seção, L o comprimento da barra e ρ a densidade. A restrição do projeto está no material suportar um carregamento F sem flambar. O carregamento crítico de flambagem é representado por F_{crit} na Equação 7, onde I é o momento de inércia da barra.

$$F_{crit} = \frac{\pi EI}{L^2} = \frac{\pi E r^4}{4L^2} \quad (\text{Equação 7})$$

O carregamento F não deve exceder F_{crit} . Resolvendo as equações para a variável livre, r , e substituindo na Equação 8, a equação de massa resulta:

$$m \geq \left(\frac{4F}{\pi}\right)^{0.5} (L^2) \left(\frac{\rho}{E^{0.5}}\right) \quad (\text{Equação 8})$$

As propriedades do material estão agrupadas no último parêntese. Assim para minimizar a massa a seleção será feita analisando a série de materiais que possuem o melhor índice M .

$$M = \frac{E^{0.5}}{\rho} \quad (\text{Equação 9})$$

Invertendo a equação 7, onde $F_{crit} = F$, isolando o r , temos que a espessura mais fina, ou seja, o menor valor de r sem que ocorra flambagem, será obtido quando:

$$r \geq \left(\frac{4F}{\pi^3}\right)^{1/4} (L^{1/2}) \left(\frac{1}{E^{1/4}}\right) \quad (\text{Equação 10})$$

Logo, a menor espessura é aquela constituída pelo material com o maior valor do índice M_2 .

$$M_2 = E \quad (\text{Equação 11})$$

Dessa forma, é necessário analisar o Mapa de Propriedades dos Materiais para essas condições, ou seja, o mapa que apresenta a relação entre densidade e Módulo de Young (Figura 32).

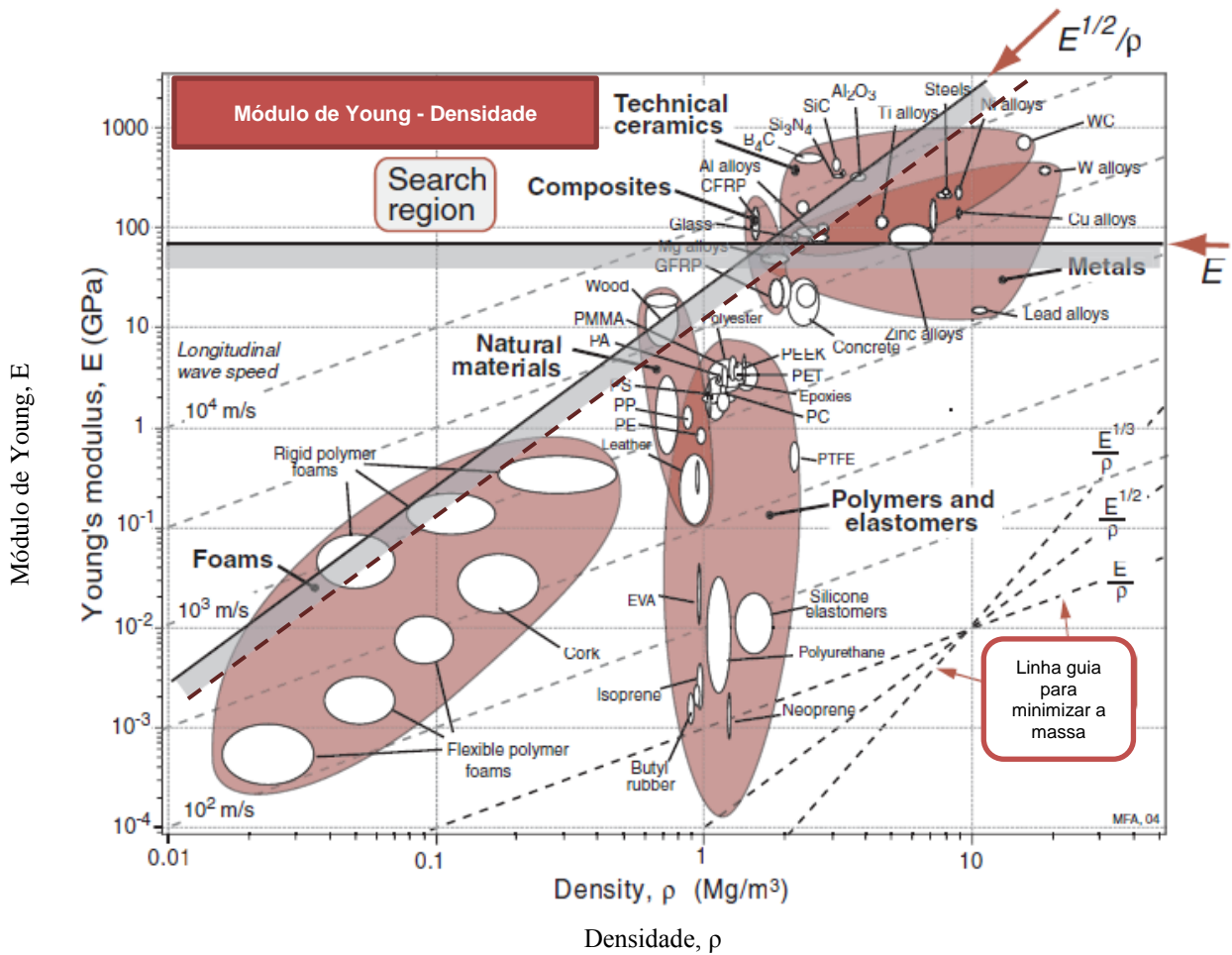


Figura 32 - Mapa de Propriedade de Materiais : Módulo de Young - Densidade

Fonte: Ashby (2007)

Polymers and elastomers : polímeros e elastômeros
Ceramics: cerâmicos
Composites: compósitos
Metals: metais
Wood: madeira
Al alloys: ligas de alumínio
Ti alloys: ligas de titânio
Mg alloys: ligas de magnésio
Steel: aço
CFRP: polímeros reforçados com fibras de carbono

Através da análise do mapa, pode-se observar que as ligas de alumínio possuem um índice superior às ligas de titânio e aços (abaixo da linha de performance do alumínio). As ligas de magnésio apresentam o mesmo desempenho, pois estão na mesma linha de performance.

Apenas os polímeros reforçados com fibra de carbono apresentam índice superior às ligas de alumínio para essa condição. De acordo com as justificativas apresentadas na primeira etapa, podemos chegar à conclusão de que a escolha por ligas de alumínio foi adequada.

Ashby permite ainda uma terceira etapa da seleção de materiais, no que diz respeito à forma. Essa análise permitirá aperfeiçoar ainda mais a seleção, visto que a forma influencia na eficiência mecânica do componente, ou seja, podem suportar esforços com a menor quantidade possível de material.

Foi desenvolvido o que se chama de fator de forma, que é uma medida da eficiência do componente com uma geometria específica. O fator de forma para uma flexão elástica pode ser definido como ϕ_B^e , onde:

$$\phi_B^e = \frac{S}{S_0} = \frac{EI}{EI_0} = \frac{12I}{A^2} \quad (\text{Equação 12})$$

Observe que o fator de forma, não depende das dimensões do componente, apenas da forma. A Figura 33 apresenta o fator de forma para algumas geometrias.

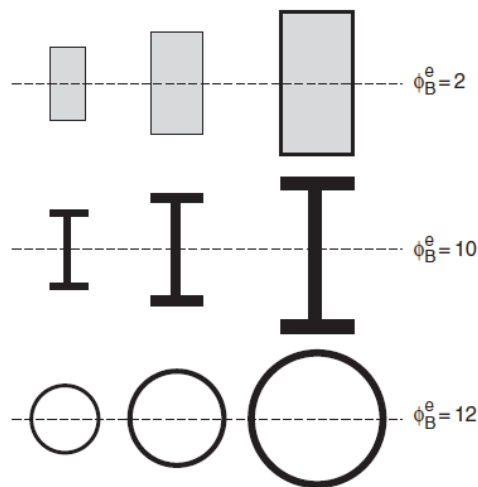


Figura 33 – Fator de forma para diferentes geometrias

Fonte: Ashby (2007)

O fator de forma tem uma interpretação muito prática: o índice $\emptyset_B^e = 12$ quer dizer que o tubo, por exemplo, é 12 vezes mais rígido do que sua forma sólida como barra redonda de mesmo peso, considerando que para a barra redonda o $\emptyset_B^e = 1$.

A carga do tipo axial que atua no componente é a determinante para esse caso no presente trabalho. Considerando-se uma tensão uniaxial a área da seção transversal é importante, mas a forma não é, ou seja, todas as seções de mesma área suportam a mesma carga. Portanto esse refinamento na forma não seria relevante.

No entanto, para o caso das cargas compressivas, deverá ser avaliado qual a forma é a mais adequada para o projeto no ponto de vista da rigidez para evitar flambagem, de acordo com a Equação 7.

Para essa etapa foi utilizada o método gráfico apresentado na Figura 34, que relaciona através dos quatro gráficos o desempenho de cada material com sua forma. Para a barra circular o momento de inércia é dado pela equação 13, onde r é o raio da seção.

$$I = \frac{\pi r^4}{4} \quad (\text{Equação 13})$$

A equação 14 apresenta o momento de inércia do tubo, onde r é o raio externo da seção e t a espessura do tubo.

$$I = \pi r t^3 \quad (\text{Equação 14})$$

No gráfico 34 está representada a análise através dos quadrantes. A linha verde representa o componente no formato de barra circular e a linha azul apresenta o componente no formato tubular. No terceiro quadrante foi observado que o desempenho da forma tubular é superior, isso porque esta localizada na parte inferior a esquerda que representa o menor peso por unidade de comprimento do sólido.

Assim, o tubo apresenta o melhor desempenho quanto à rigidez em flambagem em comparação com a barra redonda.

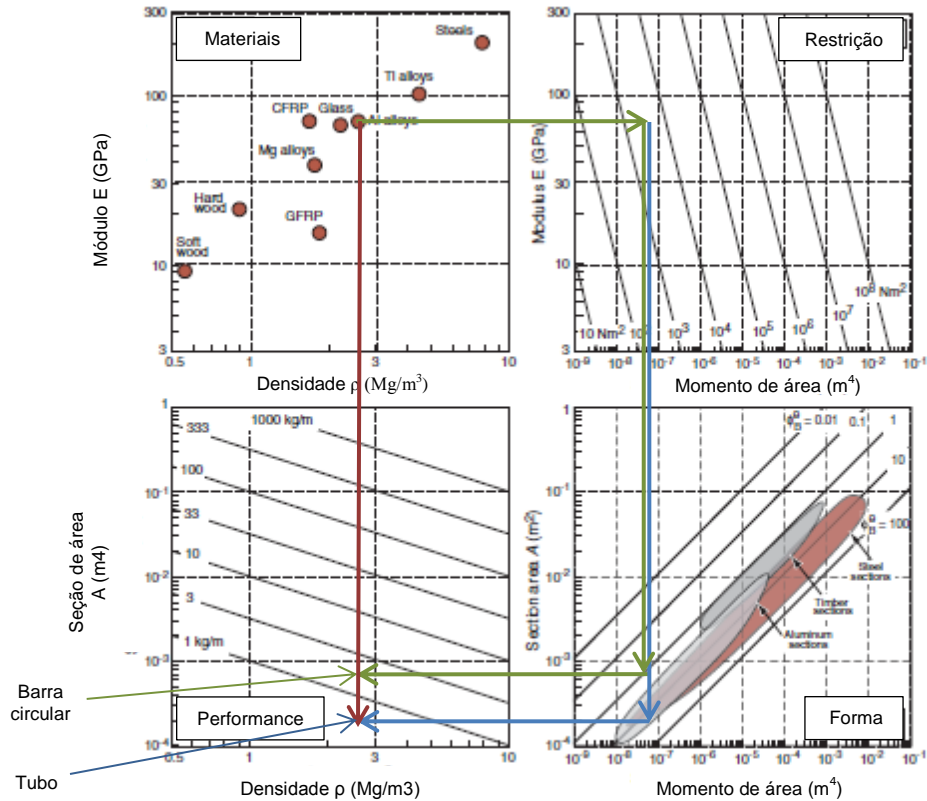


Figura 34 – Método gráfico, que relaciona através dos quatro gráficos o desempenho de cada material com sua forma.

1.11.2 Seleção dos Processos de Fabricação

Definido o material, foi necessário definir ainda o processo de fabricação utilizado. Para esse caso também fez uso das metodologias apresentadas por Ashby. Os processos podem ser divididos em níveis, conforme a Figura 35.

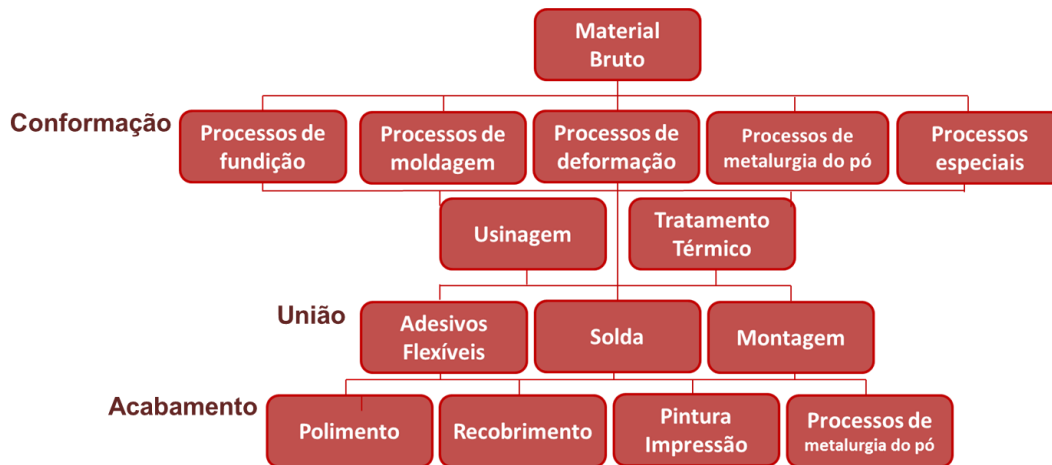


Figura 35 - Processos de fabricação.

Fonte: Adaptado de Ashby (2007).

O primeiro nível indica os processos primários, que são aqueles realizados a partir da matéria prima, sendo ela ou no estado sólido ou no estado líquido. Os principais processos dessa etapa são a fundição, deformação e moldagem.

Os processos secundários são aqueles que modificam os componentes resultados do primeiro nível, através da usinagem e tratamento térmico.

Os dois últimos níveis são aqueles responsáveis pelos processos de união (montagem e soldagem) e de acabamento (polimento, aplicação de revestimentos e pintura).

Assim como na seleção de materiais, usamos a mesma estratégia apresentada na Figura 28. Portanto, a primeira etapa é definir o cenário no qual o produto está inserido, através da tradução dos requisitos do processo (Tabela 14).

Tabela 14 - Tradução dos requisitos do processo

Fonte: Adaptado Ashby (2007)

Função	Tubo de direção , manopla, redução de regulagem
Restrições	Material:Alumínio
	Forma: Prismático circular (exceto redução de regulagem – 3D sólido);
	Massa: 20-70 g
	Seção mínima: 2-5 mm
	Tolerância: 0. 1mm
Objetivo	Qualidade
Variáveis livres	Escolha do processo

Cada processo é caracterizado por uma série de atributos, e esses são dispostos em matrizes e gráficos de barras. A análise será feita de forma sequencial analisando esses gráficos e matrizes até identificar o melhor processo.

A primeira etapa será analisar a matriz que relaciona os processos com os materiais. Alguns processos podem atender alguns materiais e outros não, portanto esse será o primeiro filtro utilizado. Em seguida, se faz a análise da forma com o processo. A forma é o atributo mais difícil de caracterizar: quanto mais complexo sua forma, menor o grupo de processos que podem atendê-lo. A forma dos produtos pode ser definida conforme a Figura 36.

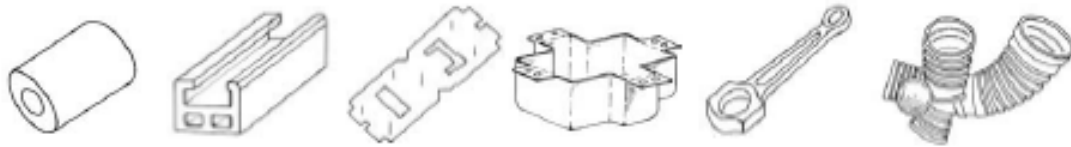
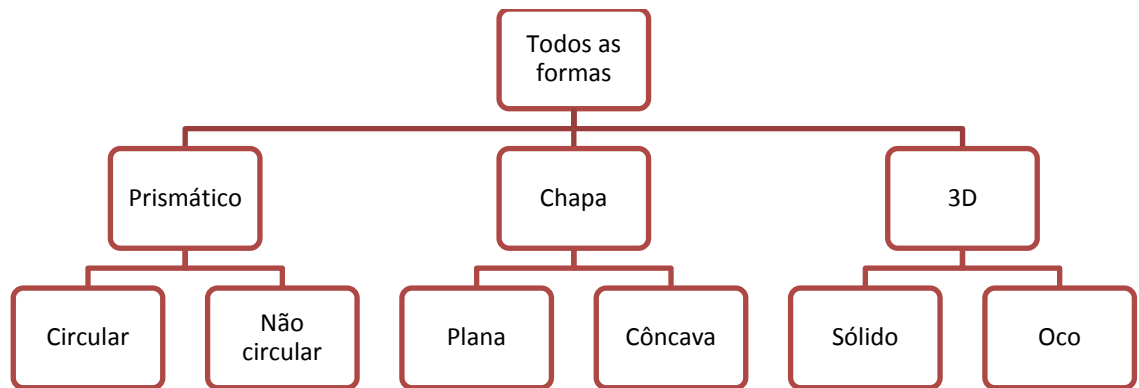


Figura 36 - Classificação da forma dos components

Fonte: Adaptado Ashby (2007)

Na sequência, o gráfico de barras que deve ser analisado é o de processo-massa do componente, visto que peças muito pesadas apresentam restrições para processos como de fundição e moldagem. Seguido do gráfico de barras que relaciona processo – espessura. Se a espessura for muito fina ela pode inviabilizar uma série de processos, assim como espessuras muito grandes.

Por fim, serão analisados os gráficos que relacionam o processo com a tolerância e rugosidade desejada do produto de cada processo de forma economicamente viável. Essas são etapas de refinamento da seleção do processo, pois vai permitir dentro daquele número de processos até então disponíveis, quais irão atender melhor os requisitos do projeto. A tolerância é feita ao longo do processo mecânico e esta detalhado nos desenhos técnicos de cada peça.

Pode ser feita uma análise dos custos dos processos selecionados. Existem alguns princípios que Ashby (2007) apresentou que resultam na redução de custos do processo, são eles:

- Padronização – sempre buscar projetar os componentes de acordo com padrões já utilizados no mercado. Ao fazer uma forma completamente nova irá resultar em processos novos, adaptação de maquinário e etc., o que pode encarecer em muito o processo. Além disso, a padronização reduz custos de inventários, a variedade de ferramentas necessárias para fabricação e pode ajudar nos casos de reciclagem.
- Mantenha as coisas simples – tente reduzir o número de processos que o componente deve ser submetido, visto que isso aumenta o custo e busque sempre se questionar se a fabricação será muito complexa, caso responda que sim, pense se é possível reprojeter o produto, pois isso com certeza irá aumentar o custo do processo.
- Faça as partes serem fáceis de montar – montagem leva tempo, e tempo custa dinheiro. A ferramenta chamada de projeto orientado a montagem (DFA) soluciona esse problema aplicando três critérios básicos:
 - Projete componentes que sejam auto-alinháveis na montagem;
 - Utilize métodos de junção das peças que são rápidos;
 - Minimize o número de peças.
- Não especifique mais desempenho do que o necessário – quanto maior a qualidade e especificação dos requisitos, maiores os custos envolvidos.

Para os três componentes a serem estudados: tubo de direção, manopla e redução de regulagem, foram obtidos os mesmos requisitos (Tabela 15).

As análises serão feitas na sequência descrita na metodologia, apresentadas das Figuras 37 – 41, resultando no afinamento dos processos em cada etapa, até chegar às opções ideais. Os resultados da seleção estão na Tabela 16.

Tabela 15- Tradução dos requisitos do processo

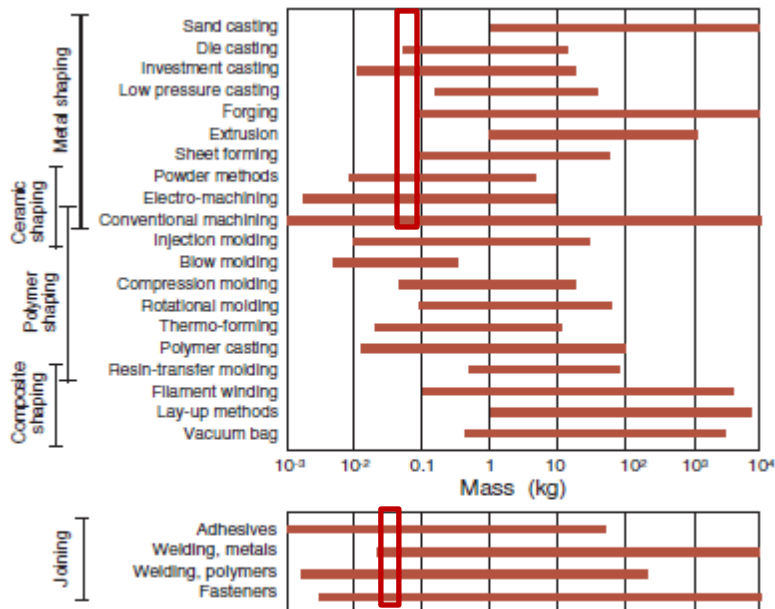
Função	Tubo de direção , manopla, redução de regulagem
Restrições	Material:Alumínio
	Forma: Prismático circular (exceto redução de regulagem – 3D sólido);
	Massa: 20-70 g
	Seção mínima: 2-5 mm
	Tolerância: 0. 1mm
Objetivo	Qualidade
Variáveis livres	Escolha do processo

		Metais ferrosos	Metais não ferrosos	Cerâmicos	Vidro	Elastômeros	Termoplasticos	Termofixos
Conformação	Fundição em areia	X	X					
	Fundição por injeção	X	X					
	Fundição por cera perdida ou microfusão	X	X					
	Fundição por baixa pressão		X					
	Forjamento	X	X					
	Extrusão		X					
	Moldagem de chapas	X	X					
	Sinterização	X	X	X				
	Usinagem elétrica	X	X	X				
	Usinagem convencional	X	X	X	X	X	X	X
	Moldagem por injeção				X	X	X	X
	Moldagem por sopramento				X		X	
	Moldagem por compressão				X	X	X	X
	Moldagem por rotação					X	X	X
	Termo-moldagem					X	X	X
Fundição de polímeros					X	X	X	
União	Adesivos	X	X	X	X	X	X	X
	Soldagem em metais	X	X					
	Soldagem em polímeros					X	X	X
	Fixadores	X	X	X	X	X	X	X
Acabamento	Usinagem de precisão	X	X				X	X
	Desbaste	X	X	X	X			
	Lapidação	X	X	X	X			
	Polimento	X	X	X	X		X	X

Figura 37 - Matriz processo - material. Fonte: adaptado Ashby (2007)

		Prismático Circular	Prismático Não circular	Chapa Plana	Chapa Concava	3D sólido	3D oco
Conformação de Metais	Fundição em areia	X	X			X	X
	Fundição por injeção	X	X			X	X
	Fundição por cera perdida ou microfusão	X	X			X	X
	Fundição por baixa pressão	X	X			X	X
	Forjamento	X	X			X	
	Extrusão	X	X				
	Moldagem de chapas	X	X	X	X		
	Sinterização	X	X			X	X
	Usinagem elétrica	X	X	X		X	X
	Usinagem convencional	X	X	X	X	X	X

Figura 38 - Matriz processo - forma. Fonte: adaptado Ashby (2007)



The process — mass-range chart. The inclusion of joining allows simple process chains to be explored.

Figura 39 - Matriz processo - massa. Fonte: Ashby (2007)

Metal Shapping: Conformação do metal

Joining: União

Mass: massa

Sand casting; Fundição em areia

Die casting; Fundição por injeção

Investment casting; Fundição por cera perdida ou microfusão

Low pressure casting; Fundição por baixa pressão

Forging; Forjamento

Extrudation; Extrusão

Sheet Forging; Moldagem de chapas

Powder methods; Sinterização

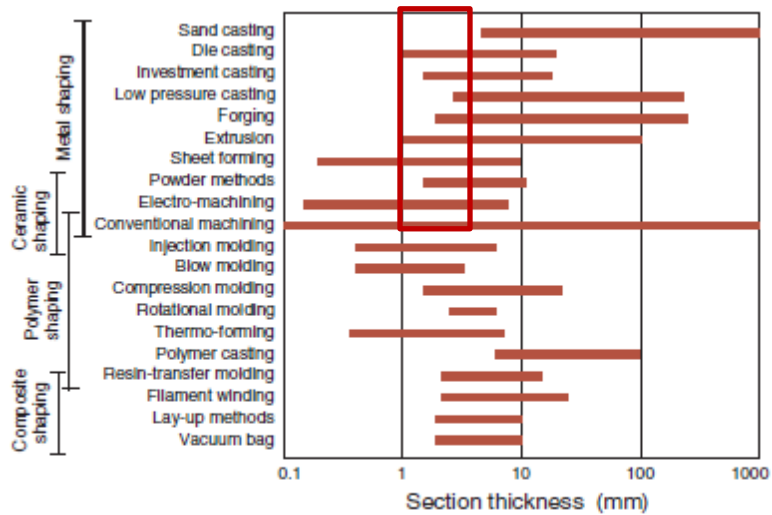
Electro-machining; Usinagem elétrica

Convencional machini; Usinagem convencional

Adhesives: adesivos

Welding: soldagem

Fasteners: fixadores



The process — section thickness chart.

Figura 40 - Matriz processo - espessura. Fonte Ashby (2007)

Metal Shapping: Conformação do metal

Joining: União

Mass: massa

Sand casting: Fundição em areia

Die casting; Fundição por injeção

Investment casting; Fundição por cera perdida ou microfundição

Low pressure casting; Fundição por baixa pressão

Forging; Forjamento

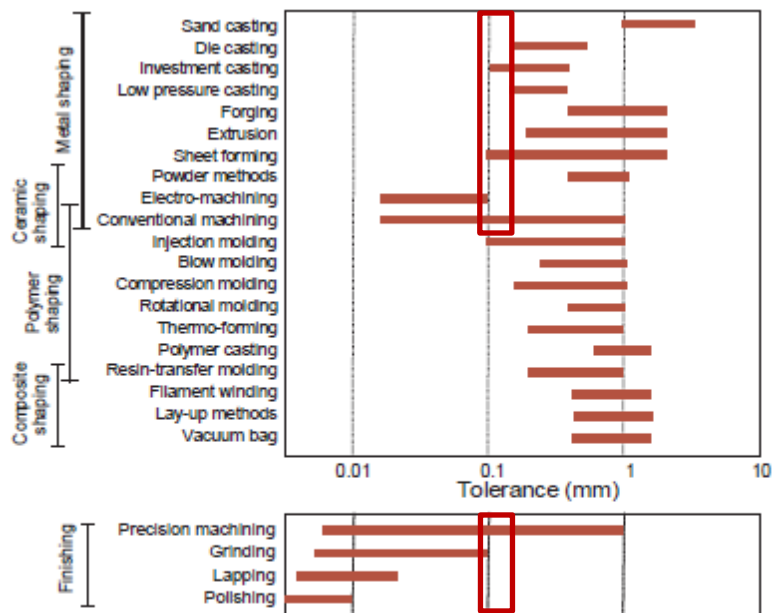
Extrudation; Extrusão

Sheet Forging; Moldagem de chapas

Powder methods; Sinterização

Electro-machining; Usinagem elétrica

Convencional machinig; Usinagem convencional



The process — tolerance chart. The inclusion of finishing processes allows simple process chains to be explored.

Figura 41 - Matriz processo - tolerância. Fonte Ashby (2007)

Metal Shapping: Conformação do metal

Joining: União

Mass: massa

Sand casting; Fundição em areia

Die casting; Fundição por injeção

Investment casting; Fundição por cera perdida ou microfusão

Low pressure casting; Fundição por baixa pressão

Forging; Forjamento

Extrudation; Extrusão

Sheet Forging; Moldagem de chapas

Powder methods; Sinterização

Electro-machining; Usinagem elétrica

Convencional machinig; Usinagem convencional

Precision machining; usinagem de precisão

Grindiling; desbaste

Lapping; lapidação

Polishing; polimento

Tabela 16 - Resultado seleção de processos

	Tubo direção	Redução da regulagem	Manopla
Confomação	Usinagem (Corte, furação, torneamento)	Usinagem (Corte, furação, torneamento)	Deformação (dobramento); Usinagem (Corte, furação, torneamento)
União	Fixadores	Fixadores	Fixadores e soldagem
Acabamento	Usinagem de precisão	Usinagem de precisão	Usinagem de precisão

O método de seleção levou a escolha da usinagem para as etapas de processo secundário. Os processos mais comuns de usinagem são o torneamento, a furação, o fresamento e a retificação.

Em seguida foi necessário analisar as possíveis escolhas para os processos de união. Lembrando-se dos princípios de DFA buscou-se simplificar a montagem. O sistema foi projetado para usar fixadores, e estes estão descritos nos desenhos técnicos encontrados em detalhes no Anexo 1. A soldagem somente será necessária na manopla para unir a parte 1 com 2, conforme Figura 42.

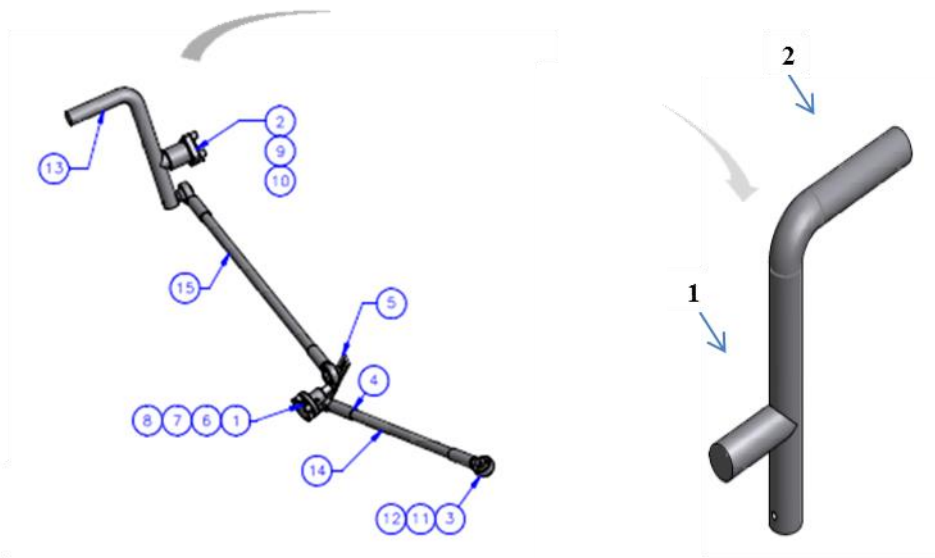


Figura 42 - Manopla

A Tabela 17 sumariza a sequência de processos para cada etapa.

Tabela 17 - Processos de fabricação para os componentes

	Tubo direção	Redução da regulagem	Manopla
Processo secundário	Usinagem (Corte, furação, torneamento)	Usinagem (Corte, furação, torneamento)	Deformação (dobramento); Usinagem (Corte, furação, torneamento)
União	Fixadores	Fixadores	Fixadores e soldagem
Acabamento	Usinagem de precisão	Usinagem de precisão	Usinagem de precisão

Para finalizar a etapa de projeto preliminar temos a vista explodida na Figura 43 (detalhada no Anexo 1), que permite verificar os componentes do sistema, assim como sua montagem.

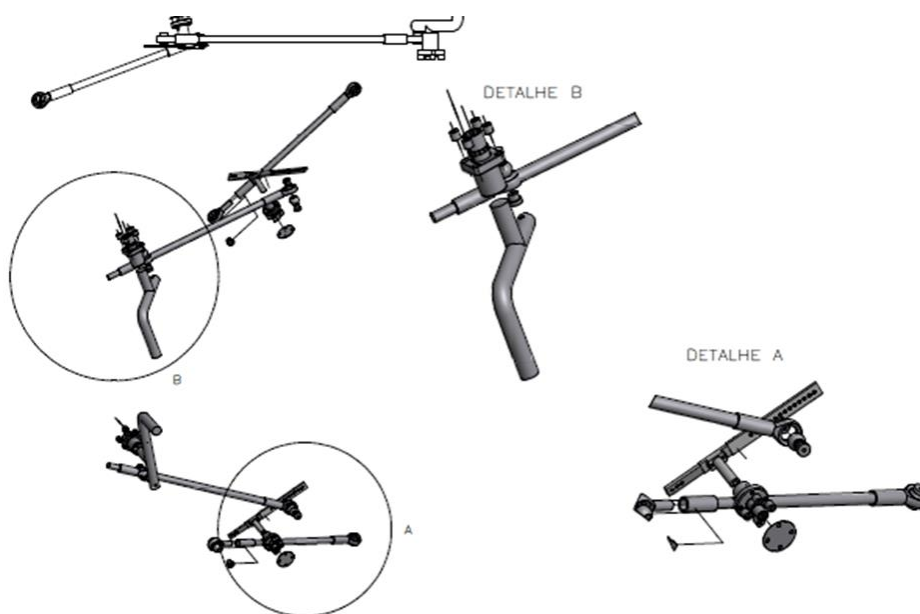


Figura 43 - Vista explodida do sistema de direção

1.12 Projeto Detalhado

Na última etapa do desenvolvimento do projeto, foi feito o refinamento de todo o detalhamento e conceito desenvolvido até então. Os desenhos técnicos (1º diedro), com o detalhamento das peças, tolerâncias (todas desenvolvidas com ajustes deslizantes), folgas e ajustes normalizados para os elementos móveis são apresentados no final desta etapa, e neste trabalho estão localizados no Anexo 1.

A Tabela 18 apresenta os materiais e processos de fabricação dos componentes do sistema de direção.

Tabela 18 - Tabela detalhada componente-material-processo de fabricação

Quantidade	Peça	Material	Processo de Fabricação
4	ARRUELA DE DIREÇÃO	AISI 1020	Comprada
4	ARRUELA MAIOR	AISI 1020	Comprada
8	BUCHA DA JUNTA ROTULAR DO GARFO	AISI 1020	Comprada
4	BUCHA DE NYLON	NYLON	Usinagem (Corte, furação, torneamento)
1	CHAPA DE REDUÇÃO COM REGULAGEM	Al 6061 T6	Usinagem (Corte, furação, torneamento)
1	CHAPA SUPORTE	Al 6061 T6	Usinagem (furação, torneamento)
1	IGUS FJUM 12 CORPO	Polímero (marca registrada)	Comprada
1	IGUS FJUM 12 INTERFACE	Polímero (marca registrada)	Comprada
1	IGUS FJUM 20 CORPO	Polímero (marca registrada)	Comprada
1	IGUS FJUM 20 INTERFACE	Polímero (marca registrada)	Comprada
4	IGUS KARM 12 CORPO	Polímero (marca registrada)	Comprada
4	IGUS KARM 12 ESFERA	Polímero (marca registrada)	Comprada
1	MANOPLA	Al 6061 T6	Deformação (dobramento); Usinagem (Corte, furação, torneamento); Soldagem
1	TUBO TRASEIRO	Al 6061 T6	Usinagem (Corte, furação, torneamento)
1	TUBO DIANTEIRO	Al 6061 T6	Usinagem (Corte, furação, torneamento)

Os componentes tais como arruelas, buchas, chapas de suporte, foram projetadas para serem utilizadas nas dimensões e com os materiais mais facilmente encontrados no mercado, com o intuito de reduzir os custos, já que essas peças não são críticas para o objetivo de diminuir o peso total do sistema.

A escolha pelo alumínio 6061 T6, foi decidida por atender as propriedades do projeto, e por ser facilmente encontrada em menor quantidade. Para o caso da equipe, uma limitação é encontrar fornecedores que vendam esse material em pequeno lote. Esse alumínio é muito utilizado na indústria automobilística, e é usado também em bicicletas de ciclismo de alto desempenho projetada para aqueles que não podem arcar com a alternativa a fibra de carbono. Sendo assim, há um número significativo de fornecedores para este material.

As propriedades do alumínio 6061-T6 estão na Figura 44. A série 6000 apresenta a presença de magnésio e silício e T6 representa o tratamento térmico por solubilização e envelhecimento. Essa liga apresenta ainda boa aceitação ao processo de anodização, boa

conformabilidade, média usinabilidade, excelente aceitação ao processo de soldagem (TIG/MIG), excelente grau de polimento e brilho. E apresenta disponibilidade de peças (barras) com até 300 mm de diâmetro.

Propriedades Químicas (%)		
Si	0,40-0,80	
Fe	0,70	
Cu	0,15-0,40	
Mn	0,15	
Mg	0,80-1,20	
Zn	0,25	
Ti	0,15	
Al	96,50-99,00	
Outros	0,05-0,15	
Propriedades Químicas	Min	Max
Limites de Resistência à Tração (Mpa)	290	350
Limite de Escoamento (Mpa)	255	330
Alongamento mínimo em % (50 mm) (1,6 mm de espessura)	8 - 16	
Dureza Brinell	95-110 HB	

Figura 44 - Propriedades da Liga Al 6061-T6.

Fonte: (Império dos metais – Site < <http://www.imperiodosmetais.com.br/>> acessado em Agosto/2013)

Na Figura 45 é possível ter a visão do sistema como um todo. Dessa forma, foram realizadas todas as etapas do projeto, chegando-se a uma concepção final e ao detalhamento dos componentes deste sistema de direção.

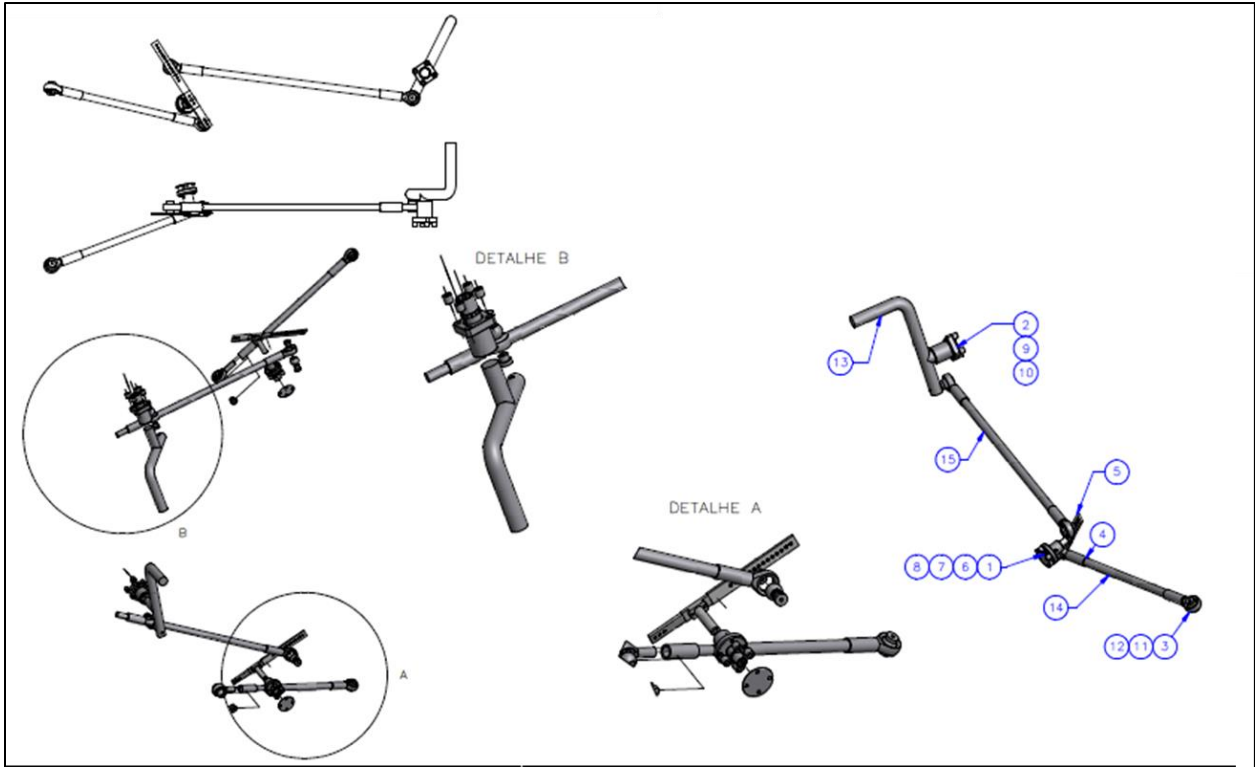


Figura 25 - Desenho técnico do sistema de direção

4. Resultados e Discussões

O processo de desenvolvimento de produto quando não é feito de forma intuitiva resulta em um projeto muito mais estruturado. A revisão da literatura feita no início do trabalho mostrou diferentes metodologias que diferiam principalmente no grau de detalhamento das etapas, e isso pode implicar em vários estudos mais aprofundados em uma determinada atividade, de acordo com a vertente escolhida.

O objetivo do trabalho não foi esgotar todas as fontes referentes às metodologias do PDP, mas sim aplicar de forma prática no estudo de caso e apresentar esse desenvolvimento de forma sistemática, para se chegar a resultados mais eficientes. Para isso foi necessário entender a equipe no contexto da competição, que difere e tem objetivos diferentes das organizações industriais, que são as referências nessas metodologias. Fez-se necessário adaptar qual seria a melhor metodologia de referência para o caso específico em análise. Além disso, buscou-se simplificar as etapas ficando-se apenas com o essencial para o desenvolvimento do projeto.

Ficou claro que a sistematização apresenta inúmeros ganhos para a equipe. Lembrando que ela é formada por alunos da graduação, ao sistematizar o PDP têm-se uma forma de auxiliar estes alunos em unir o conteúdo de todas as disciplinas aprendidas até então. Ao detalhar cada etapa, permite a construção do pensamento lógico sobre o problema, evitando que nenhuma etapa importante para o PDP seja deixada de lado. Com isso, a equipe ganha tempo e redução do número de retrabalhos.

O uso de metodologias de projeto de produto também contribui para a gestão do conhecimento. Uma falha frequentemente encontrada na equipe foi sua baixa produção de relatórios sobre o projeto. A gestão do conhecimento é essencial para esse tipo de equipe, pois ela possui um ciclo muito rápido de renovação dos seus integrantes, e os projetos devem ser melhorados ano a ano para conseguir melhores colocações nas competições. No entanto, quando isso não ocorre, volta-se a *etapa zero* do projeto, não permitindo que a nova equipe tenha tempo de desenvolver e propor aperfeiçoamentos no projeto, ou seja, devido ao limite de tempo entre cada competição, a equipe irá sempre se limitar a apresentar um projeto básico, e seu objetivo de desenvolver inovações pode ficar debilitado. Portanto, como existe a conclusão de várias etapas e só então pode se passar

para uma nova fase, necessariamente um produto de cada etapa é obtido gerando naturalmente material sobre aquele projeto.

Outro ponto muito importante ao longo do trabalho foi o uso da Seleção de Materiais e Processos seguindo a metodologia proposta por Ashby com o uso de Índice de Mérito e Mapas de Propriedades de Materiais e de Processos de Fabricação. Uma dificuldade comum durante a seleção é aperfeiçoar uma determinada propriedade do produto quando se tem dois atributos do material conflitantes entre si. Essa metodologia é muito simples de ser utilizada, e proporciona uma visão ampla sobre o desempenho de cada classe de material, devido à visualização dos gráficos, e com isso é possível chegar às melhores soluções para o projeto. Em alguns casos a escolha do material foi feito de forma intuitiva, e testada através de simulações de análise estrutural. Essa forma funciona também, mas limita o desenvolvimento da melhor solução, pois fica no campo restrito dos materiais já conhecidos pelo projetista, sem que se saiba, quantitativamente, o benefício de uma escolha ou outra.

No entanto, vale observar que os mapas utilizados agrupam os materiais em suas classes como ligas de alumínio e ligas de magnésio, sendo que dentro dessas classes existe ainda uma grande diferença de propriedades entre eles. Portanto, é importante ter a visão macro que essa ferramenta apresenta, mas é muito importante fazer a análise crítica, e identificar qual material atende melhor o seu produto ou componente. Dessa forma, essa ferramenta é muito importante nas etapas de conceituação e do projeto preliminar. Na etapa do projeto detalhado é necessário detalhar quais materiais especificadamente esta sendo usado.

Por fim, o uso de um desenvolvimento sistemático auxilia em muito o gerente de projetos da equipe, pois permite ter um controle sobre as etapas, facilitando o gerenciamento do tempo já que é possível estimar o tempo gasto em cada etapa de acordo com a sua complexidade.

5. Conclusão

O projeto sistematizou o processo de desenvolvimento do sistema de direção, apresentando diferentes ferramentas e técnicas que podem ser de muito bom uso para as equipes universitárias, que enfrentam cenários parecidos com a Equipe Sparta VE.

A metodologia apresentada por Ashby de seleção de materiais resultou na escolha por ligas de Alumínio que apresentam uma ótima relação de resistência mecânica e peso específico, além de ser uma opção adequada para os carregamentos compressivos do material, sem que ocorra a flambagem. O tubo foi escolhido por ser a forma que melhor apresenta resistência à flambagem para o caso do projeto.

O processo de fabricação foi especificado também pela metodologia Ashby que resultou em uma sequência de: usinagem na etapa de processo secundário, uso de elementos fixadores, e no caso da manopla a soldagem para as etapas de união. E por fim, no acabamento, será feito usinagem de precisão.

O trabalho atingiu seu objetivo de sistematizar através das metodologias de PDP o desenvolvimento do sistema de direção, assim como a metodologia apresentada por Ashby estruturou o processo de seleção de materiais e dos processos de fabricação do projeto, lidando com a seleção de atributos conflitantes entre si, resultado nos materiais que apresentam o melhor desempenho para uma determinada condição de contorno do projeto.

Referências Bibliográficas

ASHBY, M., SHERCIFF, H., CEBON, D., 2007. **Materials: engineering, science, processing and desing**. 1ed. Burlington, MA. Elsevier.

ASHBY, M., 2005. , **Materials Selection in Mechanical Desing**. 3 ed., London, Elsevier.

CLARK, K.B.; FUJIMOTO, T., 1991, **Product Development Performance: strategy, organization, and management in the world auto industry**. Boston, Mass: Harvard Business School Press.

DIETER, G., SCHIMIDT, L., 2009. **Engineering Design**. 4 ed. New York, Ed. McGraw-Hill.

MABIE, H., OCVIRK, F., 1980. **Mecanismos. Tradução de Edival Ponciano de Carvalho**. 2ed, Rio de Janeiro, LTC-Livros Técnicos e Científicos.

MEDEIROS, E., 1981. **Uma proposta de metodologia para o desenvolvimento de projeto de produto**. Dissertação de M.Sc. , COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro RJ, Brasil.

NONAKA, I. & TAKEUCHI, H., 1997. **Criação do conhecimento na empresa**. 20 ed. Rio de Janeiro, Campus.

LOPES, J., 2009. **Projeto conceitual de protótipo de carro elétrico para Maratona Universitária da Eficiência**. Projeto de Graduação, DEM/POLI/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

PENNO, E J., 2010, **O conhecimento tácito no processo de desenvolvimento de produtos: o estudo de caso de uma baleeira**. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ROMEIRO, E., FERREIRA, C., MIGUEL, P., GOUVINHAS, R., NAVEIRO, R., 2010. **Projeto de Produto**. 1ed, Rio de Janeiro, Elsevier.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K., 2006, **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo**.1 ed. São Paulo, Saraiva.

TIMOSHENKO, S., 1983. **Resistência dos Materiais; traduzido por José Rodrigues de Carvalho**.3 ed., Rio de Janeiro,LTC-Livros Técnicos e Científicos.

VICKY, P., 2011, **Proposta de redesenho de uma bicicleta de locação**. Dissertação de M.Sc. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

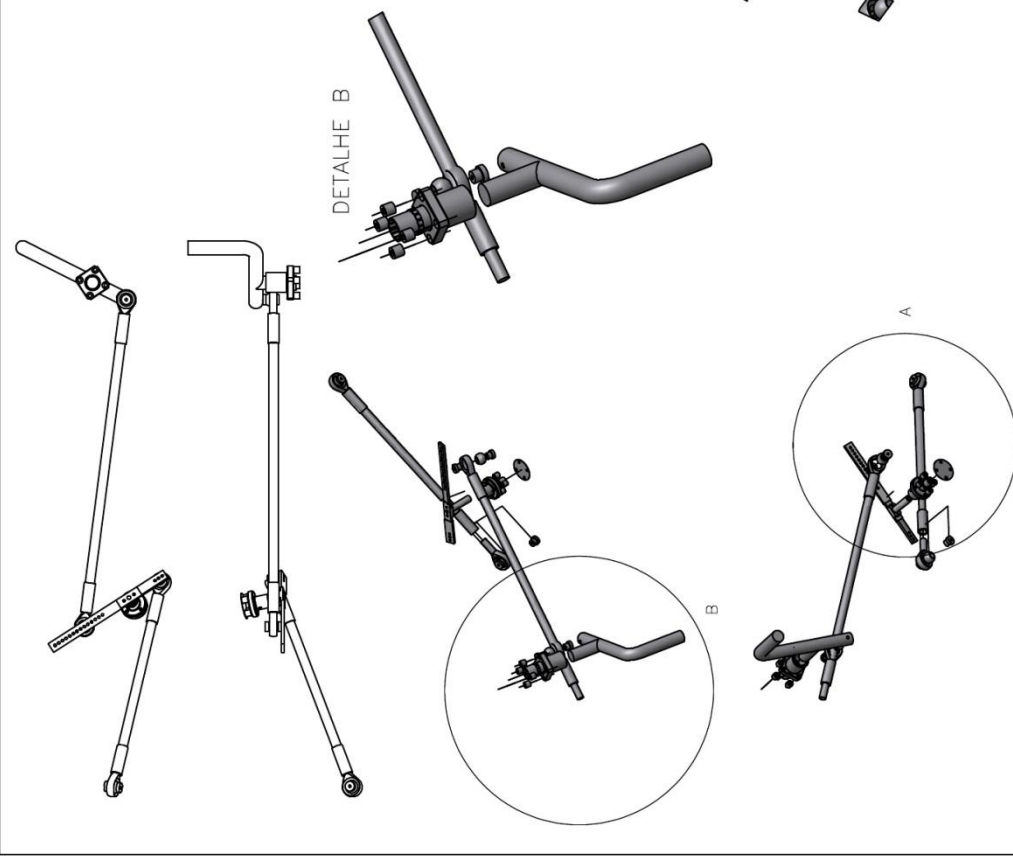
YOSHIKAWA, H. 1989. **Design philosophy: the state of the art**. Annals of the CIRP.

Regulamento Oficial Shell *Eco-Marathon*,2012 . Disponível em:
<http://www.shell.com/global/environment-society/ecomarathon.html>. Acesso em 30 de Agosto de 2013, 13:00:00.

Anexo 1 – Desenhos técnicos dos componentes do sistema de direção

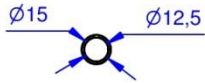
LISTA DE MATERIAS/PART LIST

Desenho Nº Drawing N°	Item Mark	Qtd. Qty.	Descrição Designation	MATERIAL Material	Observação Remarks
-	1	4	APRUELA DE DIREÇÃO	VER DESENHO	
-	2	4	APRUELA MAIOR	VER DESENHO	
-	3	8	BUCHA DA JUNTA ROTULAR DO GARFO	VER DESENHO	
-	4	4	BUCHA DE NYLON	VER DESENHO	
-	5	1	CHAPA DE REDUÇÃO COM REGULAGEM	LIGA AL 6061	
-	6	1	CHAPA SUPORTE	LIGA AL 6061	
-	7	1	IGUS FJUM 12 CORPO	-	
-	8	1	IGUS FJUM 12 INTERFACE	-	
-	9	1	IGUS FJUM 20 CORPO	-	
-	10	1	IGUS FJUM 20 INTERFACE	-	
-	11	4	IGUS KARM 12 CORPO	-	
-	12	4	IGUS KARM 12 ESFERA	LIGA AL 6061	
-	13	1	MANOPLA	LIGA AL 6061	
-	14	1	TUBO TRASEIRO	LIGA AL 6061	
-	15	1	TUBO DIANTEIRO	LIGA AL 6061	



TOLERANÇAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES (CALDEIRARIA)		TOLERANÇAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES ANGULARES		TOLERANÇAS NÃO INDICADAS RAIOS EXTERNOS E ALTURA DE CHAMFROS	
Dimensões (mm)	DE 0,5 a 30	ATE 10	> 10	Dimensões (mm)	DE 0,5 a 6
Componentes NBR ISO 2768-S	± 0,2	± 0,1	± 0,2	Usagem NBR ISO 2768-c	± 0,4
Componentes NBR ISO 2768-M	± 0,1	± 0,1	± 0,2		± 1
Dimensões (mm)	> 30	> 120	> 400		± 2
	± 0,3	± 0,4	± 0,5		
	± 0,4	± 0,5	± 0,6		
	± 0,5	± 0,6	± 0,8		
	± 0,6	± 0,8	± 1,2		
	± 0,8	± 1,2	± 2		
	± 1,2	± 2	± 4		
	± 2	± 4	± 8		
	± 4	± 8	± 16		
	± 8	± 16	± 32		
	± 16	± 32	± 64		
	± 32	± 64	± 128		
	± 64	± 128	± 256		
	± 128	± 256	± 512		
	± 256	± 512	± 1024		
	± 512	± 1024	± 2048		
	± 1024	± 2048	± 4096		
	± 2048	± 4096	± 8192		
	± 4096	± 8192	± 16384		
	± 8192	± 16384	± 32768		
	± 16384	± 32768	± 65536		
	± 32768	± 65536	± 131072		
	± 65536	± 131072	± 262144		
	± 131072	± 262144	± 524288		
	± 262144	± 524288	± 1048576		
	± 524288	± 1048576	± 2097152		
	± 1048576	± 2097152	± 4194304		
	± 2097152	± 4194304	± 8388608		
	± 4194304	± 8388608	± 16777216		
	± 8388608	± 16777216	± 33554432		
	± 16777216	± 33554432	± 67108864		
	± 33554432	± 67108864	± 134217728		
	± 67108864	± 134217728	± 268435456		
	± 134217728	± 268435456	± 536870912		
	± 268435456	± 536870912	± 1073741824		
	± 536870912	± 1073741824	± 2147483648		
	± 1073741824	± 2147483648	± 4294967296		
	± 2147483648	± 4294967296	± 8589934592		
	± 4294967296	± 8589934592	± 17179869184		
	± 8589934592	± 17179869184	± 34359738368		
	± 17179869184	± 34359738368	± 68719476736		
	± 34359738368	± 68719476736	± 137438953472		
	± 68719476736	± 137438953472	± 274877906944		
	± 137438953472	± 274877906944	± 549755813888		
	± 274877906944	± 549755813888	± 1099511627776		
	± 549755813888	± 1099511627776	± 2199023255552		
	± 1099511627776	± 2199023255552	± 4398046511104		
	± 2199023255552	± 4398046511104	± 8796093022208		
	± 4398046511104	± 8796093022208	± 17592186044416		
	± 8796093022208	± 17592186044416	± 35184372088832		
	± 17592186044416	± 35184372088832	± 70368744177664		
	± 35184372088832	± 70368744177664	± 140737488355328		
	± 70368744177664	± 140737488355328	± 281474976710656		
	± 140737488355328	± 281474976710656	± 562949953421312		
	± 281474976710656	± 562949953421312	± 1125899906842624		
	± 562949953421312	± 1125899906842624	± 2251799813685248		
	± 1125899906842624	± 2251799813685248	± 4503599627370496		
	± 2251799813685248	± 4503599627370496	± 9007199254740992		
	± 4503599627370496	± 9007199254740992	± 18014398509481984		
	± 9007199254740992	± 18014398509481984	± 36028797018963968		
	± 18014398509481984	± 36028797018963968	± 72057594037927936		
	± 36028797018963968	± 72057594037927936	± 144115188075855872		
	± 72057594037927936	± 144115188075855872	± 288230376151711744		
	± 144115188075855872	± 288230376151711744	± 576460752303423488		
	± 288230376151711744	± 576460752303423488	± 1152921504606846976		
	± 576460752303423488	± 1152921504606846976	± 2305843009213693952		
	± 1152921504606846976	± 2305843009213693952	± 4611686018427387904		
	± 2305843009213693952	± 4611686018427387904	± 9223372036854775808		
	± 4611686018427387904	± 9223372036854775808	± 18446744073709551616		
	± 9223372036854775808	± 18446744073709551616	± 36893488147419103232		
	± 18446744073709551616	± 36893488147419103232	± 73786976294838206464		
	± 36893488147419103232	± 73786976294838206464	± 147573952589676412928		
	± 73786976294838206464	± 147573952589676412928	± 295147905179352825856		
	± 147573952589676412928	± 295147905179352825856	± 590295810358705651712		
	± 295147905179352825856	± 590295810358705651712	± 1180591620717411303424		
	± 590295810358705651712	± 1180591620717411303424	± 2361183241434822606848		
	± 1180591620717411303424	± 2361183241434822606848	± 4722366482869645213696		
	± 2361183241434822606848	± 4722366482869645213696	± 9444732965739290427392		
	± 4722366482869645213696	± 9444732965739290427392	± 18889465931478580854784		
	± 9444732965739290427392	± 18889465931478580854784	± 37778931862957161709568		
	± 18889465931478580854784	± 37778931862957161709568	± 75557863725914323419136		
	± 37778931862957161709568	± 75557863725914323419136	± 151115727451828646838272		
	± 75557863725914323419136	± 151115727451828646838272	± 302231454903657293676544		
	± 151115727451828646838272	± 302231454903657293676544	± 604462909807314587353088		
	± 302231454903657293676544	± 604462909807314587353088	± 1208925819614629174706176		
	± 604462909807314587353088	± 1208925819614629174706176	± 241785163922925834941232		
	± 1208925819614629174706176	± 241785163922925834941232	± 483570327845851669882464		
	± 241785163922925834941232	± 483570327845851669882464	± 967140655691703339764928		
	± 483570327845851669882464	± 967140655691703339764928	± 1934281311383406679529952		
	± 967140655691703339764928	± 1934281311383406679529952	± 3868562622766813359059904		
	± 1934281311383406679529952	± 3868562622766813359059904	± 7737125245533626718119808		
	± 3868562622766813359059904	± 7737125245533626718119808	± 15474250491067253436239616		
	± 7737125245533626718119808	± 15474250491067253436239616	± 30948500982134506872479232		
	± 15474250491067253436239616	± 30948500982134506872479232	± 61897001964269013744958464		
	± 30948500982134506872479232	± 61897001964269013744958464	± 123794003928538027489919128		
	± 61897001964269013744958464	± 123794003928538027489919128	± 247588007857076054979838256		
	± 123794003928538027489919128	± 247588007857076054979838256	± 495176015714152109959676512		
	± 247588007857076054979838256	± 495176015714152109959676512	± 990352031428304219919353024		
	± 495176015714152109919353024	± 990352031428304219919353024	± 1980704062856608439387066048		
	± 990352031428304219919353024	± 1980704062856608439387066048	± 3961408125713216878774132096		
	± 1980704062856608439387066048	± 3961408125713216878774132096	± 792281625142643375754826192		
	± 3961408125713216875754826192	± 792281625142643375754826192	± 1584563250285286751509752384		
	± 7922816251426433751509752384	± 1584563250285286751509752384	± 3169126500570573503019545768		
	± 1584563250285286751509752384	± 3169126500570573503019545768	± 6338253001141147006039091536		
	± 3169126500570573503019545768	± 6338253001141147006039091536	± 12676506002282294012078183072		
	± 6338253001141147006039091536	± 12676506002282294012078183072	± 25353012004564588024156766144		
	± 12676506002282294012078183072	± 25353012004564588024156766144	± 50706024009129176048313532288		
	± 25353012004564588024156766144	± 50706024009129176048313532288	± 101412048018258352096626664576		
	± 50706024009129176048313532288	± 101412048018258352096626664576	± 202824096036516704193253331152		
	± 101412048018258352096626664576	± 20282409603651670419325331152	± 405648192073033408386506662304		
	± 20282409603651670419325331152	± 405648192073033408386506662304	± 811296384146066816773713324608		
	± 405648192073033408386506662304	± 811296384146066816773713324608	± 162259276832213363549466672816		
	± 811296384146066816773713324608	± 162259276832213363549466672816	± 324518553664426727098933345632		
	± 162259276832213363549466672816	± 324518553664426727098933345632	± 6490371073288534541978666812608		
	± 324518553664426727098933345632	± 6490371073288534541978666812608	± 12980742145770690883957333625216		
	± 6490371073288534541978666812608	± 12980742145770690883957333625216	±		

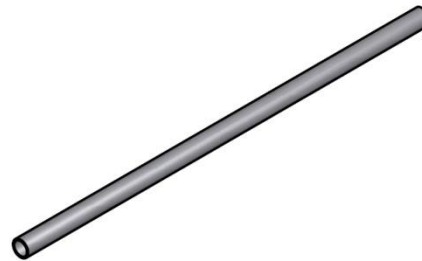
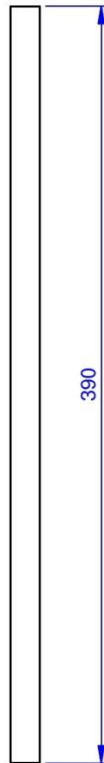
LISTA DE MATERIAIS					
N.º DESENHO	ITEM	QTD	DESCRIÇÃO	MATERIAL	OBSERVAÇÕES
	1	1	TUBO DE DIREÇÃO DIANTEIRO	LIGA Al 6061	--



1- MATÉRIA PRIMA:

-> TODOS OS MATERIAIS DEVERÃO SER CERTIFICADOS;

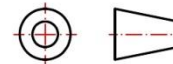
2- ACABAMENTO:



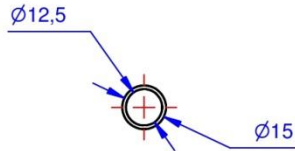
TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES								TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES ANGULARES					TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS RAIOS EXTERNOS E ALTURA DE CHANFROS				
Dimensões (mm)	DE 0,5 A ≤ 3	> 3 A ≤ 6	> 6 A ≤ 30	> 30 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400 A ≤ 1000	> 1000 A ≤ 2000	> 2000	Até 10	> 10 A ≤ 50	> 50 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400	Dimensões (mm)	DE 0,5 A ≤ 3	> 3 A ≤ 6	> 6
Comprimentos NBR ISO 2768-c	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4									
Diâmetros NBR ISO 2768-m	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2									
TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES (CALDEIRARIA)								Usinagem NBR ISO 2768-c					Usinagem NBR ISO 2768-c				
Dimensões (mm)	DE 2 A ≤ 30	> 30 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400 A ≤ 1000	> 1000 A ≤ 2000	> 2000 A ≤ 4000	> 4000 A ≤ 8000	> 8000	± 1°30'	± 1°	± 0°30'	± 0°15'	± 0°10'		± 0,4	± 1	± 2
NBR ISO 13920-c	± 1	± 3	± 4	± 6	± 8	± 11	± 14	± 18									

TUBO DE DIREÇÃO DIANTEIRO

ESCALA
1/3



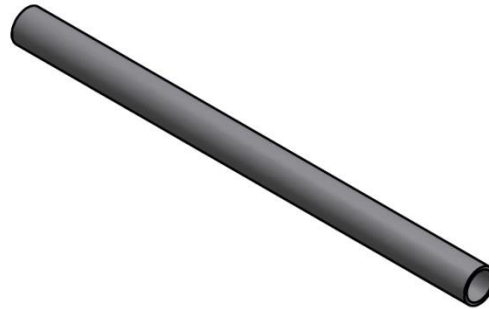
LISTA DE MATERIAIS					
N.º DESENHO	ITEM	QTD	DESCRIÇÃO	MATERIAL	OBSERVAÇÕES
	1	1	TUBO DE DIREÇÃO TRASEIRO	LIGA Al 6061	--



1- MATÉRIA PRIMA:

-> TODOS OS MATERIAIS DEVERÃO SER CERTIFICADOS;

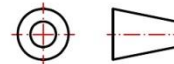
2- ACABAMENTO:



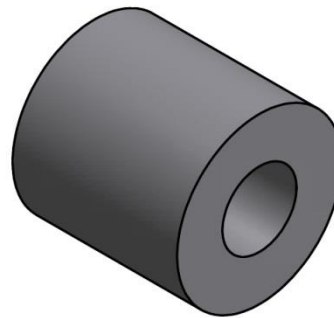
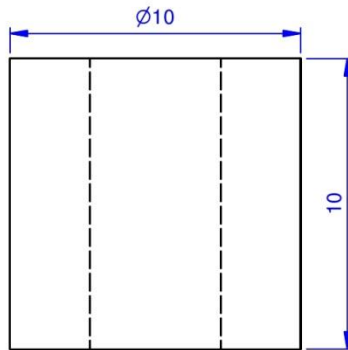
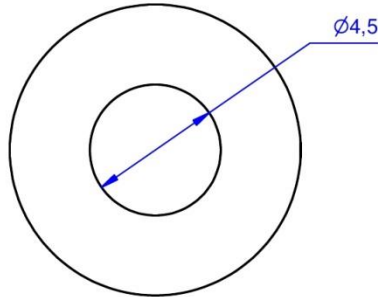
TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES								TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES ANGULARES					TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS RAIOS EXTERNOS E ALTURA DE CHANFROS					
Dimensões (mm)	DE 0.5 A ≤ 3	> 3 A ≤ 6	> 6 A ≤ 30	> 30 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400 A ≤ 1000	> 1000 A ≤ 2000	> 2000 A ≤ 4000	Dimensões (mm)	ATÉ 10	> 10 A ≤ 50	> 50 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400	Dimensões (mm)	DE 0.5 A ≤ 3	> 3 A ≤ 6	> 6
Comprimentos NBR ISO 2768-c	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	Usinagem NBR ISO 2768-c	± 1° 30'	± 1°	± 0° 30'	± 0° 15'	± 0° 10'	Usinagem NBR ISO 2768-c	± 0,4	± 1	± 2
Diâmetros NBR ISO 2768-m	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2										
TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES (CALDEIRARIA)																		
Dimensões (mm)	DE 2 A ≤ 30	> 30 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400 A ≤ 1000	> 1000 A ≤ 2000	> 2000 A ≤ 4000	> 4000 A ≤ 8000	> 8000 A ≤ 12000										
NBR ISO 13920-c	± 1	± 3	± 4	± 6	± 8	± 11	± 14	± 18										

TUBO DE DIREÇÃO TRASEIRO

**ESCALA
1/2**



LISTA DE MATERIAIS					
N.º DESENHO	ITEM	QTD	DESCRIÇÃO	MATERIAL	OBSERVAÇÕES
	1	1	BARRA REDONDA 3/8"	AISI 1020	--



1- MATÉRIA PRIMA:

-> TODOS OS MATERIAIS DEVERÃO SER CERTIFICADOS;

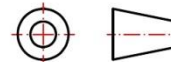
2- ACABAMENTO:

->

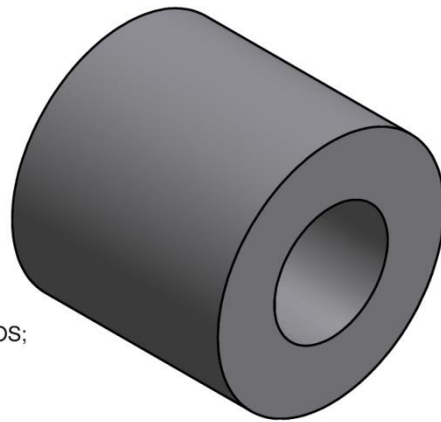
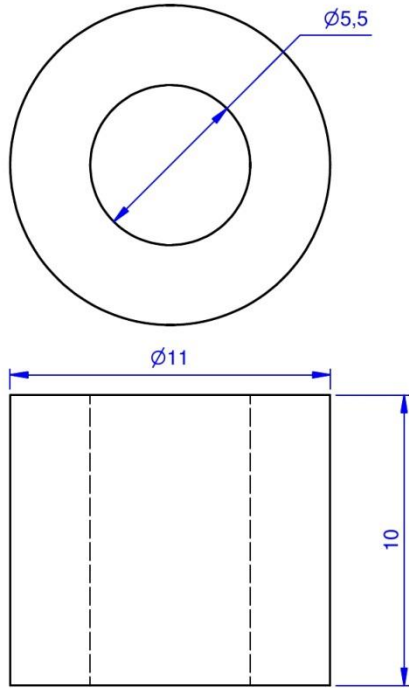
TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES								TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES ANGULARES					TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS RAIOS EXTERNOS E ALTURA DE CHANFROS					
Dimensões (mm)	DE 0.5 A ≤ 3	> 3 A ≤ 6	> 6 A ≤ 30	> 30 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400 A ≤ 1000	> 1000 A ≤ 2000	> 2000 A ≤ 4000	Dimensões (mm)	ATÉ 10	> 10 A ≤ 50	> 50 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400	Dimensões (mm)	DE 0.5 A ≤ 3	> 3 A ≤ 6	> 6
Comprimentos NBR ISO 2768-c	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	Usinagem NBR ISO 2768-c	± 1° 30'	± 1°	± 0° 30'	± 0° 15'	± 0° 10'	Usinagem NBR ISO 2768-c	± 0,4	± 1	± 2
Diâmetros NBR ISO 2768-m	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2										
TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES (CALDEIRARIA)																		
Dimensões (mm)	DE 2 A ≤ 30	> 30 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400 A ≤ 1000	> 1000 A ≤ 2000	> 2000 A ≤ 4000	> 4000 A ≤ 8000	> 8000 A ≤ 12000										
NBR ISO 13920-c	± 1	± 3	± 4	± 6	± 8	± 11	± 14	± 18										

ARRUELA DE DIREÇÃO

**ESCALA
5/1**



LISTA DE MATERIAIS					
N.º DESENHO	ITEM	QTD	DESCRIÇÃO	MATERIAL	OBSERVAÇÕES
	1	1	ARRUELA MAIOR	AISI 1020	--



1- MATÉRIA PRIMA:

-> TODOS OS MATERIAIS DEVERÃO SER CERTIFICADOS;

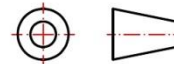
2- ACABAMENTO:

->

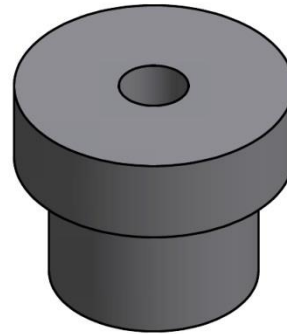
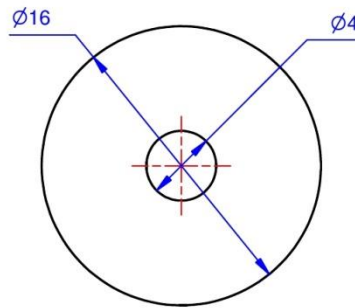
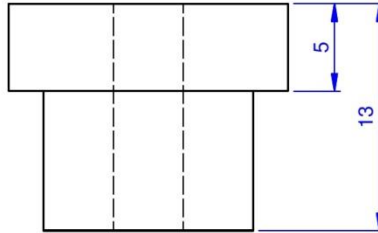
TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES								TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES ANGULARES					TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS RAIOS EXTERNOS E ALTURA DE CHANFROS					
Dimensões (mm)	DE 0,5 A ≤ 3	> 3 A ≤ 6	> 6 A ≤ 30	> 30 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400 A ≤ 1000	> 1000 A ≤ 2000	> 2000 A ≤ 4000	Dimensões (mm)	ATÉ 10	> 10 A ≤ 50	> 50 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400	Dimensões (mm)	DE 0,5 A ≤ 3	> 3 A ≤ 6	> 6
Comprimentos NBR ISO 2768-c	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	Usinagem NBR ISO 2768-c	± 1°30'	± 1°	± 0°30'	± 0°15'	± 0°10'	Usinagem NBR ISO 2768-c	± 0,4	± 1	± 2
Diâmetros NBR ISO 2768-m	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2		TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES (CALDEIRARIA)								
Dimensões (mm)	DE 2 A ≤ 30	> 30 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400 A ≤ 1000	> 1000 A ≤ 2000	> 2000 A ≤ 4000	> 4000 A ≤ 8000	> 8000 A ≤ 12000										
NBR ISO 13920-c	± 1	± 3	± 4	± 6	± 8	± 11	± 14	± 18										

ARRUELA MAIOR

**ESCALA
5/1**



LISTA DE MATERIAIS					
N.º DESENHO	ITEM	QTD	DESCRIÇÃO	MATERIAL	OBSERVAÇÕES
	1	1	BARRA REDONDA 5/8"	AISI 1020	--



1- MATÉRIA PRIMA:

-> TODOS OS MATERIAIS DEVERÃO SER CERTIFICADOS;

2- ACABAMENTO:

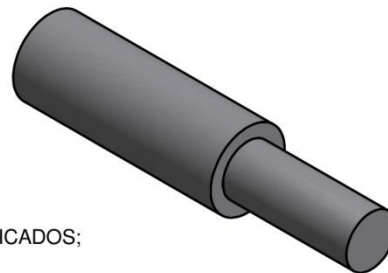
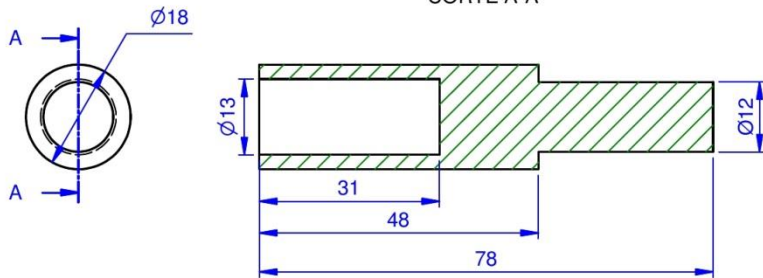
-> 3.6

TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES								TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES ANGULARES					TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS RAIOS EXTERNOS E ALTURA DE CHANFROS				
Dimensões (mm)	DE 0.5 A ≤ 3	> 3 A ≤ 6	> 6 A ≤ 30	> 30 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400 A ≤ 1000	> 1000 A ≤ 2000	> 2000 A ≤ 4000	Até 10°	> 10° A ≤ 50	> 50° A ≤ 120	> 120° A ≤ 400	> 400°	Dimensões (mm)	DE 0.5 A ≤ 3	> 3 A ≤ 6	> 6
Comprimentos NBR ISO 2768-c	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4									
Diâmetros NBR ISO 2768-m	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2									
TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES (CALDEIRARIA)								Usinagem NBR ISO 2768-c					Usinagem NBR ISO 2768-c				
Dimensões (mm)	DE 2 A ≤ 30	> 30 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400 A ≤ 1000	> 1000 A ≤ 2000	> 2000 A ≤ 4000	> 4000 A ≤ 8000	± 1°30'	± 1°	± 0°30'	± 0°15'	± 0°10'					
NBR ISO 13920-c	± 1	± 3	± 4	± 6	± 8	± 11	± 14	± 18						± 0,4	± 1	± 2	

BUCHA DA JUNTA ROTULAR DO GARFO

ESCALA 3/1

LISTA DE MATERIAIS					
N.º DESENHO	ITEM	QTD	DESCRIÇÃO	MATERIAL	OBSERVAÇÕES
	1	1	BARRA REDONDA 3/4"	AISI 1020	--



1- MATÉRIA PRIMA:

-> TODOS OS MATERIAIS DEVERÃO SER CERTIFICADOS;

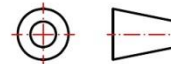
2- ACABAMENTO:

-> 3.2

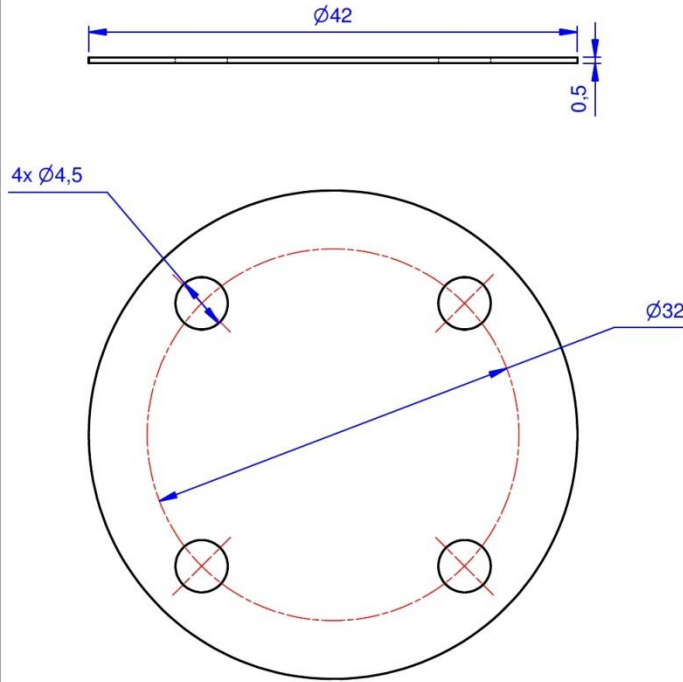
TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES								TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES ANGULARES					TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS RAIOS EXTERNOS E ALTURA DE CHANFROS					
Dimensões (mm)	DE 0.5 A ≤ 3	> 3 A ≤ 6	> 6 A ≤ 30	> 30 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400 A ≤ 1000	> 1000 A ≤ 2000	> 2000 A ≤ 4000	Dimensões (mm)	ATÉ 10	> 10 A ≤ 50	> 50 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400	Dimensões (mm)	DE 0.5 A ≤ 3	> 3 A ≤ 6	> 6
Comprimentos NBR ISO 2768-c	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	Usinagem NBR ISO 2768-c	± 1° 30'	± 1°	± 0° 30'	± 0° 15'	± 0° 10'	Usinagem NBR ISO 2768-c	± 0,4	± 1	± 2
Diâmetros NBR ISO 2768-m	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2										
TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES (CALDEIRARIA)																		
Dimensões (mm)	DE 2 A ≤ 30	> 30 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400 A ≤ 1000	> 1000 A ≤ 2000	> 2000 A ≤ 4000	> 4000 A ≤ 8000	> 8000 A ≤ 12000										
NBR ISO 13920-c	± 1	± 3	± 4	± 6	± 8	± 11	± 14	± 18										

BUCHA DE NYLON

**ESCALA
1/1**



LISTA DE MATERIAIS					
N.º DESENHO	ITEM	QTD	DESCRIÇÃO	MATERIAL	OBSERVAÇÕES
	1	1	CHAPA SUPORTE	LIGA Al 6061	--

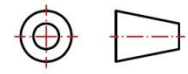


1- MATÉRIA PRIMA:
-> TODOS OS MATERIAIS DEVERÃO SER CERTIFICADOS;
2- ACABAMENTO:
-> 12.9

TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES								TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES ANGULARES					TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS RAIOS EXTERNOS E ALTURA DE CHANFROS					
Dimensões (mm)	DE 0.5 A ≤ 3	> 3 A ≤ 6	> 6 A ≤ 30	> 30 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400 A ≤ 1000	> 1000 A ≤ 2000	> 2000 A ≤ 4000	Dimensões (mm)	ATÉ 10	> 10 A ≤ 50	> 50 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400	Dimensões (mm)	DE 0.5 A ≤ 3	> 3 A ≤ 6	> 6
Comprimentos NBR ISO 2768-c	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	Usinagem NBR ISO 2768-c	± 1° 30'	± 1°	± 0° 30'	± 0° 15'	± 0° 10'	Usinagem NBR ISO 2768-c	± 0,4	± 1	± 2
Diâmetros NBR ISO 2768-m	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES (CALDEIRARIA)									
Dimensões (mm)	DE 2 A ≤ 30	> 30 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400 A ≤ 1000	> 1000 A ≤ 2000	> 2000 A ≤ 4000	> 4000 A ≤ 8000	> 8000 A ≤ 12000										
NBR ISO 13920-c	± 1	± 3	± 4	± 6	± 8	± 11	± 14	± 18										

CHAPA SUPORTE

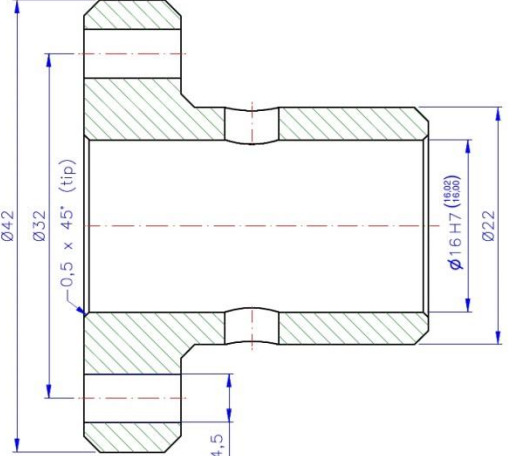
ESCALA
2/1



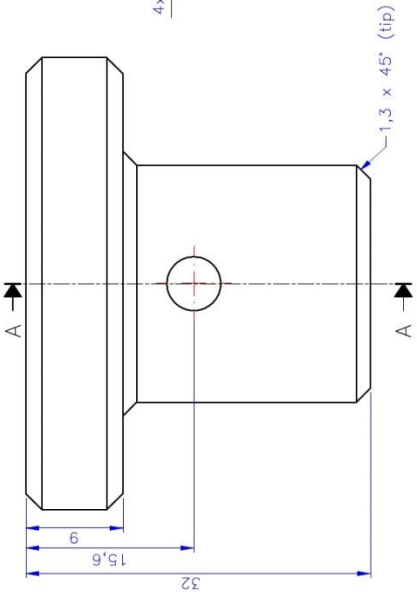
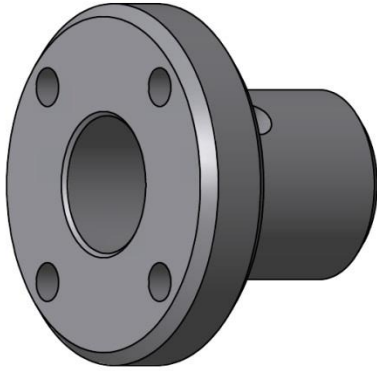
LISTA DE MATERIAS/PART LIST

Desenho N° Drawing N°	Item Mark	Qtd. Qty.	Descrição Designation	MATERIAL Material	Observação Remarks
	1	1	IGUS FJUM 12 - CORPO	-	

CORTE A-A



NOTA (S):
1- MATÉRIA PRIMA:
 -> TODOS OS MATERIAIS DEVERÃO SER CERTIFICADOS;
2- ACABAMENTO:
 -> $\sqrt{32}$



TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES (SUSINAGEM)		TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES ANGULARES		TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS RUAÇOS EXTERNOS E ALTURA DE CHAMFEROS	
Dimensões (mm)	> 3 ≤ 3	> 30 ≤ 30	> 120 ≤ 120	> 10 ≤ 10	> 3 ≤ 3
Componentes	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 10 ≤ 10	± 0,5 ≤ 0,5
NBR ISO 2768-c	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 1° 30'	± 0,4
NBR ISO 2768-m	± 0,1	± 0,1	± 0,3	± 1° 30' ± 0° 15'	± 0,4
Dimensões (mm)	> 30 ≤ 30	> 100 ≤ 100	> 200 ≤ 200	± 1° 30'	± 0,4
NBR ISO 1302-c	± 1	± 3	± 6	± 1° 30' ± 0° 15'	± 0,4
NBR ISO 1302-c	± 1	± 3	± 6	± 1° 30' ± 0° 15'	± 0,4

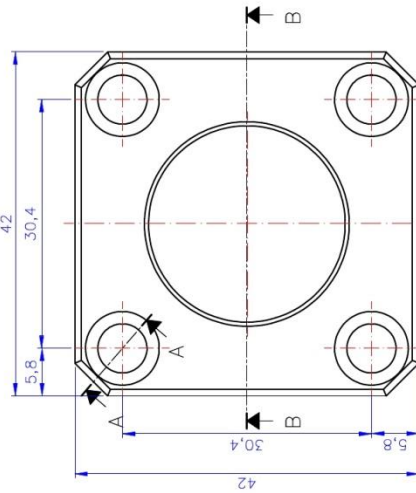
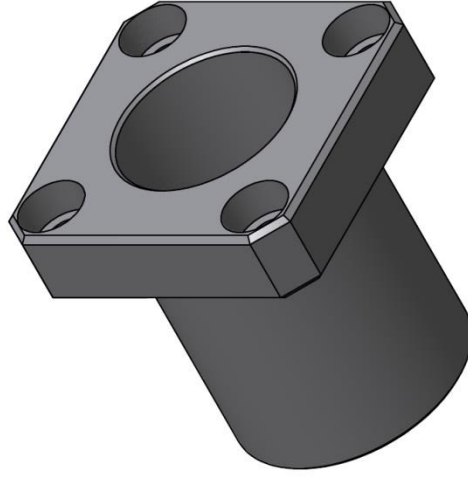
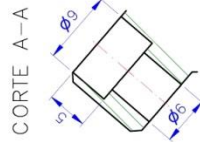
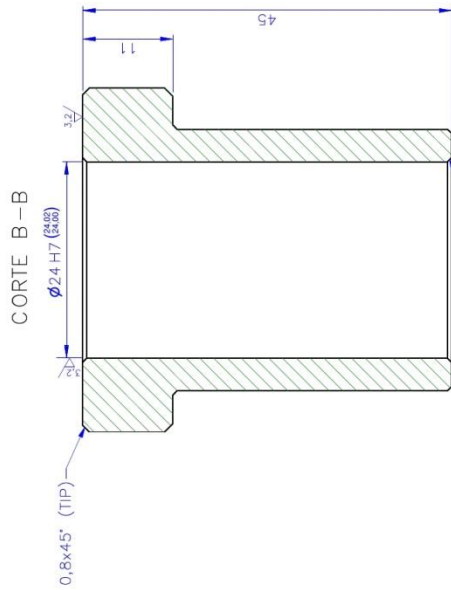
IGUS FJUM 12 - CORPO



LISTA DE MATERIAS/PART LIST

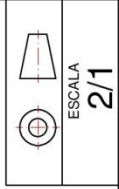
Desenho N° Drawing N°	Item Mark	Qtd. Qty	Descrição Designation	Material	Observação Remarks
	1	1	IGUS FJUM 20 - CORPO	-	

NOTA(S):
 1- MATÉRIA PRIMA:
 -> TODOS OS MATERIAIS DEVERÃO SER CERTIFICADOS;
 2- ACABAMENTO:
 -> $\sqrt{32}$



TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS - DIMENSÕES LINEARES (USAGEM)		TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS - DIMENSÕES ANGULARES		TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS - RAIOS EXTERNOS E ALTURA DE CHAMFEROS	
Dimensões	DE 0,5	DE 10	DE 10	Dimensões (mm)	DE 0,5
Compartimentos	± 0,2	± 0,3	± 0,2	Até 10	± 0,5
NR ISO 2768-c	± 0,1	± 0,1	± 0,2	> 10	± 0,3
NR ISO 2768-m	± 0,1	± 0,1	± 0,2	≤ 50	± 0,3
				> 50	± 0,4
				≤ 120	± 0,4
				> 120	± 0,5
				≤ 400	± 0,6
				> 400	± 0,8
				Usagem	Usagem
				NR ISO 2768-c	NR ISO 2768-c
				± 1 - 30	± 1
				± 0 - 30	± 0,15
				± 0 - 15	± 0 - 10
					± 2

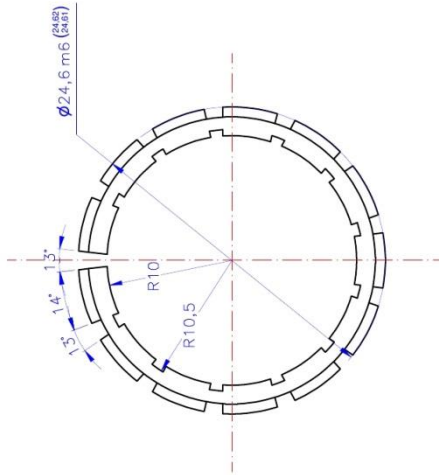
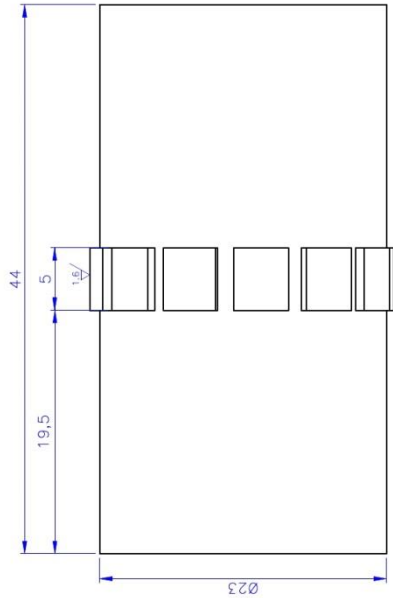
IGUS FJUM 20 - CORPO



ESCALA
2/1

LISTA DE MATERIAS/PART LIST

Desenho Nº Drawing N°	Item Mark	Qtde. Qty.	Descrição Designation	Material Material	Observação Remarks
	1	1	IGUS FJUM 20 - INTERFACE	-	



NOTA (S):

1- MATÉRIA PRIMA:

-> TODOS OS MATERIAIS DEVERÃO SER CERTIFICADOS;

2- ACABAMENTO:

-> 3,2 (1,6 /)

TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES (USINAGEM)		TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES ANGULARES		TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS RAIOS EXTERNOS E ALTURA DE CHAVETOS	
Dimensões	DE 0,5 < 3 3 < 6 6 < 30 30 < 120 120 < 400 400 < 1000 1000 < 2000 2000 < 4000 4000 < 6000 6000 < 10000	ATE 10	> 10 < 50 > 50 < 120 > 120 < 400 > 400	Dimensões (mm)	DE 0,5 < 3 3 < 6 > 6
Concentricidade	± 0,2	ATE 10	> 10 < 50 > 50 < 120 > 120 < 400 > 400	Usinagem	± 1 ± 1 ± 1
Paralelismo	± 0,1	ATE 10	> 10 < 50 > 50 < 120 > 120 < 400 > 400	Usinagem	± 0,4 ± 0,4 ± 0,4
Perpendicularidade	± 0,1	ATE 10	> 10 < 50 > 50 < 120 > 120 < 400 > 400	Usinagem	± 0,4 ± 0,4 ± 0,4
Forma	± 0,1	ATE 10	> 10 < 50 > 50 < 120 > 120 < 400 > 400	Usinagem	± 0,4 ± 0,4 ± 0,4
Superfície	± 0,1	ATE 10	> 10 < 50 > 50 < 120 > 120 < 400 > 400	Usinagem	± 0,4 ± 0,4 ± 0,4

IGUS FJUM 20 - INTERFACE

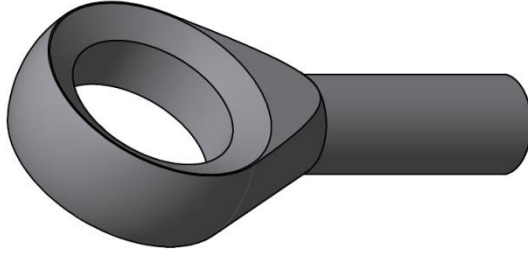
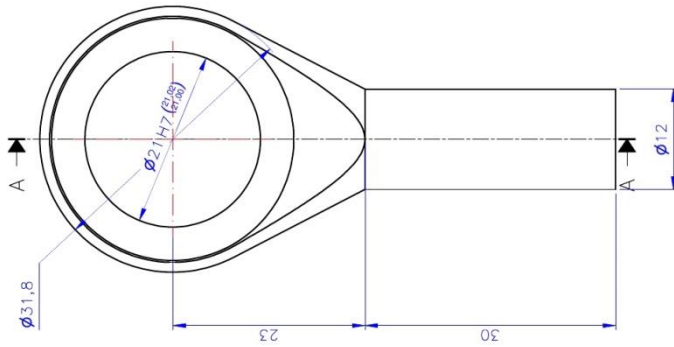


ESCALA
3/1

LISTA DE MATERIAS/PART LIST

Desenho Nº Drawing N°	Item Mark	Qtd. Qty.	Material Material	Observação Remarks
	1	1	IGUS KARM 12 - CORPO	-

CORTE A-A



NOTA (S):

1- MATÉRIA PRIMA:

-> TODOS OS MATERIAIS DEVERÃO SER CERTIFICADOS;

2- ACABAMENTO:

-> $12\sqrt{3}$ ($\sqrt{3}/2$)

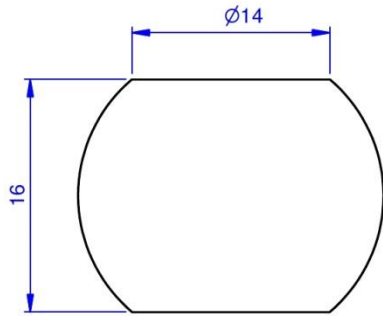
Dimensões (mm)	TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS - DIMENSÕES LINEARES (US INACEM)				TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS - DIMENSÕES ANGULARES				TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS - RAIOS EXTERNOS E ALTURA DE CHAMFROS				
	DE 0,5 ≤ 3	> 3 ≤ 6	> 6 ≤ 30	> 30 ≤ 400	ATE 10	> 10 ≤ 50	> 50 ≤ 120	> 120 ≤ 400	Dimensões (mm)	DE 0,5 ≤ 3	> 3 ≤ 6	> 6	Usinagem NBR ISO 2768-c
Dimensões (mm)	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4					± 0,4
Usinagem NBR ISO 2768-m	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 2					± 0,4
Dimensões (mm)	DE 2 ≤ 30	> 30 ≤ 120	> 120 ≤ 400	> 400 ≤ 1000	> 1000 ≤ 2000	> 2000 ≤ 4000	> 4000 ≤ 8000	> 8000 ≤ 12000					± 1,8
Usinagem NBR ISO 18252-c	± 1	± 3	± 4	± 6	± 8	± 11	± 14	± 18					± 2

IGUS KARM 12 - CORPO



ESCALA
2/1

LISTA DE MATERIAIS					
N.º DESENHO	ITEM	QTD	DESCRIÇÃO	MATERIAL	OBSERVAÇÕES
	1	1	IGUS KARM 12 - ESFERA	-	--

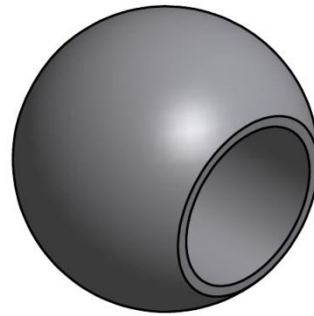
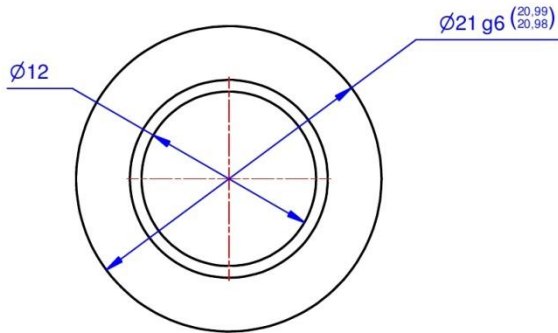


1- MATÉRIA PRIMA:

-> TODOS OS MATERIAIS DEVERÃO SER CERTIFICADOS;

2- ACABAMENTO:

-> 3.2/√



TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES								TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES ANGULARES					TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS RAIOS EXTERNOS E ALTURA DE CHANFROS					
Dimensões (mm)	DE 0.5 A ≤ 3	> 3 A ≤ 6	> 6 A ≤ 30	> 30 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400 A ≤ 1000	> 1000 A ≤ 2000	> 2000 A ≤ 4000	Dimensões (mm)	ATÉ 10	> 10 A ≤ 50	> 50 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400	Dimensões (mm)	DE 0.5 A ≤ 3	> 3 A ≤ 6	> 6
Comprimentos NBR ISO 2768-c	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	Usinagem NBR ISO 2768-c	± 1°30'	± 1°	± 0°30'	± 0°15'	± 0°10'	Usinagem NBR ISO 2768-c	± 0,4	± 1	± 2
Diâmetros NBR ISO 2768-m	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2										
TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS DIMENSÕES LINEARES (CALDEIRARIA)																		
Dimensões (mm)	DE 2 A ≤ 30	> 30 A ≤ 120	> 120 A ≤ 400	> 400 A ≤ 1000	> 1000 A ≤ 2000	> 2000 A ≤ 4000	> 4000 A ≤ 8000	> 8000 A ≤ 12000										
NBR ISO 13920-c	± 1	± 3	± 4	± 6	± 8	± 11	± 14	± 18										

IGUS KARM 12 - ESFERA

**ESCALA
2.5/1**

