



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

RITA ANNE ANDRADE BARRETO

PROJETO DETALHADO DE UMA MÁQUINA CNC ROUTER

MOSSORÓ

2018

RITA ANNE ANDRADE BARRETO

PROJETO DETALHADO DE UMA MÁQUINA CNC ROUTER

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. Orientador: Prof. Dr. Fabrício José Nobrega Cavalcante - UFERSA

MOSSORÓ

2018

RITA ANNE ANDRADE BARRETO

PROJETO DETALHADO DE UMA MÁQUINA CNC ROUTER

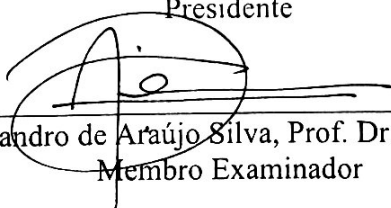
Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel Engenharia Mecânica.

Defendida em: 17 / 04 / 2018.

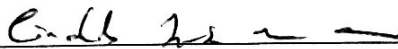
BANCA EXAMINADORA



Fabrício José Nóbrega Cavalcante, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



Alex Sandro de Araújo Silva, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



Cândido Jorge de Sousa Lobo Prof. Dr. (UFC)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela fé e coragem de continuar a luta mesmo diante de todas as dificuldades.

Aos meus pais José Barreto e Joana Darc, por todo o apoio e incentivo a minha formação pessoal e profissional, e por sempre me ajudarem nos momentos mais difíceis e as minhas irmãs Jéssica e Isadora por sempre estarem ao meu lado.

Ao professor Fabrício pela orientação e paciência para a realização desse trabalho.

“Tudo tem a sua ocasião própria, e há tempo para tudo debaixo do céu. Há tempo de nascer e tempo de morrer, tempo de plantar e tempo de arrancar o que se plantou.”

Ecl. 3-1

RESUMO

As máquinas convencionais dependiam extremamente da destreza do operador, logo com a automação, a sua atuação fica restrita à supervisão de uma ou várias máquinas, sem interferência direta no processo de produção. Para que essa evolução chegasse às máquinas operatrizes, muitos estudos e desenvolvimentos foram necessários, desde elementos de máquinas e tipos de acionamentos até sistemas de controle (COUTINHO e SANTIAGO, 2014). O presente trabalho tem como objetivo desenvolver o projeto detalhado de uma máquina Router CNC, que consiste em uma máquina fresadora que possui três eixos de movimento controlados por comandos numéricos onde oferece extrema precisão, qualidade e automatização na fabricação de peças, no qual surgiu à necessidade a partir da dificuldade de realizar cortes mais elaborados na madeira. Aplica-se então a metodologia de projeto para o desenvolvimento do equipamento onde a mesma deve realizar os objetivos predefinidos durante as etapas anteriores da metodologia e obter um produto de qualidade. Nesta etapa do projeto, define-se de forma detalhada os componentes do equipamento, analisando as melhores aplicações, layouts finais para que se possa construir uma máquina eficiente que cumpra todas necessidades do cliente.

Palavras-chave: Equipamento. Projeto Detalhado. Router CNC.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Diferença dos Produtos Industriais x Sob Encomenda	30
Quadro 2 - Recomendações de velocidades de corte para diferentes tipos de madeira	48
Quadro 3 - SPINDLES ELÉTRICOS COM TROCA MANUAL DE FERRAMENTAS SÉRIE TL – Refrigeração Líquida	50
Quadro 4 – Força e diâmetro do fuso retificado e roscado.....	50
Quadro 5 – Velocidades recomendadas para diferentes tipos de materiais.....	52
Quadro 6 – Dados técnicos da Spindle HFGS 856 KURODA JENA TEC	52
Quadro 7 – Dimensões do sistema de Pinças ER (DIN 6499)	54
Quadro 8 – Teórica Base	55
Quadro 9 - Dimensões principais de roscas padrão Acme americano	56
Quadro 10– Massa, rotação e passo equivalente a cada tipo de movimento.....	56
Quadro 11 – Cargas aos quais os fusos estão submetidos.....	57
Quadro 12 – Torques necessários para realizar os movimentos.....	59
Quadro 13 – Tensões de cisalhamento e torcional	60
Quadro 14 – Fusos de esfera Modelo RFSI.....	60
Quadro 15: Dimensões Série Standard MSA-S / MSA-LS	62
Quadro 16 - Servomotor SWA Modelo Standard sem Freio Eletromagnético - 200-230 V....	64
Quadro 17 - Servoconversor com filtro RFI interno + fonte interna de 24 V CC.....	66
Quadro 18 - Servoconversor com filtro RFI interno + fonte interna de 24 V CC.....	66
Quadro 19 – Dimensões e especificações técnicas do acoplamento série ADS-K	68

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1- Modelo geral de projeto segundo Asimow	18
Imagem 2 - Etapas do processo de projeto segundo Pahl & Beitz	20
Imagem 3 - Ciclo de vida do sistema segundo Fabrick e Blachard.....	21
Imagem 4 - Metodologia segundo Ertas e Jones (1994)	22
Imagem 5 - Etapas do projeto segundo Coryell	24
Imagem 6 - Morfologia da metodologia segundo Clausing (1993).....	25
Imagem 7 - Modelo da atividade do projeto total (1993).....	26
Imagem 8 - Atividades de projeto nas diferentes etapas do desenvolvimento de produto.....	28
Imagem 9 – Fluxograma da metodologia de projeto para desenvolvimento de equipamentos sob encomenda	39
Imagem 10 - A Casa da Qualidade	42
Imagem 11 - Perspectiva isométrica do primeiro esboço do Router CNC.....	45
Imagem 12 - Vista frontal do primeiro esboço do Router CNC.....	45
Imagem 13 - Vista lateral do primeiro esboço do Router CNC	46
Imagem 14 - Fuso de esfera.....	46
Imagem 15 - Spindle	47
Imagem 16 - Motor de passo	47
Imagem 17 - Layout final do equipamento	51
Imagem 18 – Dimensões do Motor Spindle KURODA JENA TEC.....	53
Imagem 19 – Curva de potência típica do Spindle KURODA JENA TEC	53
Imagem 20 - Dimensões do sistema de Pinças ER (DIN 6499).....	54
Imagem 21 - Fusos de esfera Modelo RFSI	60
Imagem 22 - Dimensões Série Standard MSA-S / MSA-LS.....	62
Imagem 23 – Método de fixação da guia na máquina.....	63
Imagem 24 - Servoconversor com filtro RFI interno + fonte interna de 24 V CC.....	66
Imagem 25 – Acoplamento série ADS-K.....	68

Imagem 26 – Vista isométrica da mesa de trabalho.	69
Imagem 27 – Vistas superior, lateral e frontal da mesa de trabalho.....	69
Imagem 28 – Vista isométrica da estrutura primária.....	70
Imagem 29 – Vistas frontal, lateral e superior da estrutura primária.	71
Imagem 30 – Vista isométrica da estrutura primária e secundária.....	71
Imagem 31 – Vista isométrica Router CNC	72
Imagem 32 – Vista lateral Router CNC	72
Imagem 33 – vista frontal Router CNC.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MDF – Medium Density Fiberboard (Placa de Fibra de Média Densidade);

HDF – High Density Fiberboard (Painel de Fibras de Alta Densidade)

MDP - Medium Density Particleboard (Painel de Partículas de Baixa Densidade);

OSB – Oriented Strand Board (Painel de Tiras Orientadas);

QFD – Quality Function Deployment (Desdobramento da Função Qualidade);

CNC – Comando Numérico Computadorizado;

CAD – Computer Aided Design (Projeto Assistido por Computador);

CAM – Computer Aided Manufacturing (Manufatura Assistida por Computador);

SSCs – Sistemas, Subsistemas e Componentes;

RPM – Rotações por Minuto;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVO.....	14
2.1. OBJETIVO GERAL.....	14
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	14
3. JUSTIFICATIVA	15
4. REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1. METODOLOGIA DE PROJETO	16
4.1.1. Metodologia de Projeto segundo Asimow.....	17
4.1.2. Metodologia de Projeto segundo Pahl & Beitz.....	19
4.1.3. Metodologia de Projeto segundo Fabrick & Blanchard.....	21
4.1.4. Metodologia de Projeto segundo Ertas e Jones.....	22
4.1.5. Metodologia de Projeto segundo Coryell.....	23
4.1.6. Metodologia de Projeto segundo Clausing	24
4.1.7. Metodologia de Projeto segundo Pugh.....	25
4.1.8. Metodologia de projeto segundo Baxter	26
4.2. PRINCIPAIS ASPECTOS	28
4.3. ROUTER CNC	29
5. METODOLOGIA DE PROJETO PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO SOB ENCOMENDA.....	30
5.1. IDENTIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS / NECESSIDADES.....	31
5.1.1. Identificação das necessidades.....	32
5.1.2. Definição dos requisitos gerais.....	32
5.1.3. Elaboração das especificações de projeto	32
5.2. PLANEJAMENTO.....	33
5.3. PROJETO CONCEITUAL.....	34
5.3.1. Compreensão aprofundada.....	34
5.3.2. Elaboração de alternativas.....	35
5.3.3. Verificação	36
5.4. PROJETO PRELIMINAR.....	36
5.5. PROJETO DETALHADO	37
6. CONSOLIDAÇÃO DA METODOLOGIA DE PROJETO.....	40

6.1.	IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES / PROBLEMAS.....	40
6.2.	PLANEJAMENTO.....	43
6.3.	PROJETO CONCEITUAL.....	44
6.4.	PROJETO DETALHADO	51
6.4.1.	Componentes	51
6.4.1.1.	Spindle	51
6.4.1.2.	Fuso de esfera	54
6.4.1.3.	Guia Linear	61
6.4.1.4.	Servomotores	63
6.4.1.5.	Acoplamento	66
6.4.1.6.	Estrutura	68
7.	CONCLUSÃO.....	74

1. INTRODUÇÃO

As exigências tecnológicas são cada vez maiores com relação aos equipamentos, ao trabalho em que realizam e como realizam, ou seja, sem a necessidade de um operador direto. Com isso, surge a tecnologia CNC que está cada vez mais disseminada no segmento industrial, onde são necessárias máquinas mais eficientes e de melhor qualidade.

De acordo com Machado (1997) Comando Numérico Computadorizado é aquele em que as funções e os movimentos de uma máquina ferramenta são controlados sem intervenção do operador, realizando as operações contidas em um programa com dados alfanuméricos codificados, podendo controlar os movimentos da ferramenta ou peça de trabalho, os parâmetros de entrada, por exemplo, a velocidade de avanço, a profundidade de corte, e outras funções tais como, o giro do spindle (eixo árvore, onde é fixada a ferramenta de corte) e fluido refrigerante.

Com o desenvolvimento da metodologia para equipamentos sob encomenda, elabora-se o projeto detalhado de um Router CNC, sendo esta uma máquina ferramenta que realiza usinagens por meio de comando numérico em diversos tipos de materiais, no entanto, para esse projeto restringe-se a usinagem na madeira, a partir da necessidade o cliente. No qual, dimensiona-se os componentes mecânicos que melhor se aplicam ao equipamento, acionamento elétrico e elaboração de layouts detalhados.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GERAL

Dá continuidade a aplicação da metodologia de projeto para produtos sob encomenda, desenvolvendo o projeto detalhado da Router CNC. Seguindo os passos descritos na metodologia para que se obtenha um produto de qualidade.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Desenvolver e finalizar o detalhamento construtivo da Router CNC, de acordo com a metodologia de projeto.

Consolidar o projeto preliminar, elaborar layouts mais detalhados, especificar os elementos da máquina, dimensionando-os corretamente, detalhar a produção do equipamento.

3. JUSTIFICATIVA

A metodologia é um instrumento de trabalho e, portanto sua aplicação resultaria automaticamente num bom projeto de produto. O bom resultado é função da capacidade técnica e criativa de quem resolve o problema, sendo a metodologia apenas um suporte lógico, dividindo-se em etapas que vão desde a percepção da necessidade até uma descrição final da configuração de projeto.

Logo, para o bom desempenho de um equipamento que se deseja desenvolver é necessário o detalhamento do mesmo, onde se utiliza de decisões tomadas em outras etapas. No projeto detalhado, o grau de detalhamento é elevado, onde as informações devem ser mais específicas e claras em torno do produto, como os layouts definitivos do equipamento, especificações dos componentes e as tolerâncias.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. METODOLOGIA DE PROJETO

Projeto é um processo inovador, altamente repetitivo e de tomada de decisão, que inclui realizar um plano de atividades que resulta na criação de algo funcional, seguro, confiável, competitivo e próprio para ser usado, fabricado e comercializado. Além disso, projetar é uma atividade em constante progresso, visto que está sujeito a inúmeros ajustes e adaptações com o decorrer de seu desenvolvimento e com as informações obtidas durante a análise do problema a ser corrigido (BUDYNAS e NISBETT, 2011).

Devido às necessidades do mercado por produtos novos, projetar torna-se mais interessante quando se deseja produtos de qualidade, em menor tempo e um processo de produção mais otimizado. Várias estruturas do processo de projeto têm sido propostas e melhoradas servindo de ferramenta básica aos projetistas para que estes possam vencer os desafios surgidos com as necessidades da sociedade.

O desenvolvimento de novos produtos procura solucionar problemas e satisfazer as necessidades do mercado, do qual é preciso um amplo conhecimento, ideias e talentos para determinar as características técnicas e econômicas do produto perante o fabricante e o usuário. Porém, a criação de novos produtos apresenta uma elevada probabilidade de insucesso, onde técnicas que permitem reduzir o tempo de desenvolvimento de projeto, com maior eficiência e que sejam sistematizadas são altamente indicadas, para melhorias de produtos e serviços.

Logo, projetar não é uma tarefa simples, pois requer capacidade, conhecimento, método, entre outros, que conferem importância ao projeto. Considerando tais fatores, para projetar de maneira organizada, armazenando e disponibilizando informações, garantindo a eficiência do projeto se faz necessário o uso de metodologia de projeto, do qual visa desenvolver e ordenar o conhecimento sobre as atividades de projeto.

Existem várias metodologias propostas por autores que desenvolvem seus trabalhos de forma paralela, surgindo assim soluções muito próximas, porém algumas diferem apenas em aspectos morfológicos. Muitas definições podem ser encontradas para o termo, mas, de maneira geral, metodologia de projeto consiste no conhecimento organizado, configurado de tal maneira a suportar as atividades dos engenheiros e projetistas, orientando-os sobre

determinados caminhos, na busca de melhores soluções para os problemas de projeto (AREND, 2003).

Segundo Pereira (2004), metodologia de projeto se destina a fornecer ao projetista um raciocínio lógico no processamento de um projeto, capaz de identificar o problema de projeto, conduzindo as ações para que se encontre uma solução adequada a este problema. Para tanto, utilizam-se de todos os meios práticos disponíveis para viabilizar o projeto da melhor maneira possível e explorar melhor todas as informações disponíveis neste desenvolvimento.

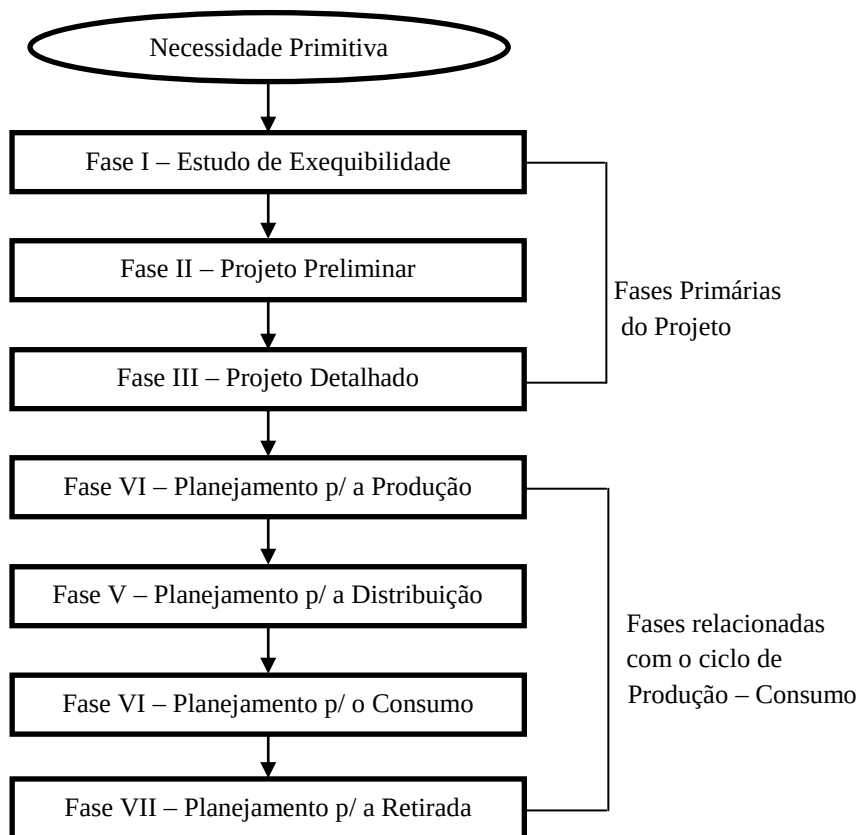
Cada modelo de processo de projeto consiste de uma sequência de etapas, que vão desde a percepção da necessidade até uma descrição final da configuração de projeto. A seguir serão apresentadas, metodologias desenvolvidas por alguns autores, que em seguida serão utilizadas como ferramenta para o desenvolvimento de uma nova metodologia.

4.1.1. Metodologia de Projeto segundo Asimow

A metodologia proposta por Asimow (1968) procura determinar de forma extensiva e encadeada todos os passos de desenvolvimento de produtos, focando mais os aspectos procedurais da atividade de projeto, do que o próprio objeto de projeto. Irá se desenvolver através de uma sequência de eventos, que forma um modelo comum a todos os projetos, sendo possível a aplicação a qualquer área da tecnologia. Dentro do modelo proposto pelo autor uma nova fase não começará antes que a anterior esteja completa, mas esta determinação pode ser modificada para alguns casos, como pode ser observado na Imagem 1.

O modelo é dividido em dois grupos principais: Fases primárias do projeto (Fases I, II e III) e Fases relacionadas ao ciclo produção-consumo (Fases IV, V, VI e VII). O primeiro grupo está relacionado as atividades para desenvolvimento da concepção do projeto, enquanto o segundo grupo engloba as atividades para desenvolvimento da concepção do projeto e as atividades ligadas ao desenvolvimento da produção e serviços de apoio (MACHADO, 1997). Fase I – Estudo da viabilidade: procura-se definir um conjunto de soluções viáveis para o problema em estudo, do qual propõe uma série de passos que resultará em um produto bem determinado e com possibilidades de fabricação.

Imagem 1- Modelo geral de projeto segundo Asimow



Fonte: (OGLIARI, 2007).

Fase II – Projeto Preliminar: deseja-se identificar qual das alternativas determinadas na fase I seria a melhor concepção para o produto. Entre os passos desta fase tem-se a seleção da concepção para o projeto, as projeções futuras e a verificação final da concepção do projeto.

Fase III – Projeto Detalhado: busca-se obter as descrições de engenharia de um projeto viável e verificado. A concepção escolhida no projeto preliminar será apresentada e então detalhada, caso seja um bom produto.

No final destas fases do projeto obtém-se o produto final testado e aprovado que pode ser reproduzido para atender as necessidades para o qual foi concebido. As fases de IV a VII compõem as partes da metodologia ligadas ao desenvolvimento da produção (BACK e FORCELLINI, 2002).

4.1.2. Metodologia de Projeto segundo Pahl & Beitz

Considerada uma abordagem clássica na área de projeto de produtos industriais, tem sido usada como base para várias pesquisas. Esta metodologia enfoca além dos aspectos procedurais da atividade de projeto dos projetistas, aspectos relacionados à percepção e modelagem do problema de projeto. (BACK e FORCELLINI, 2002).

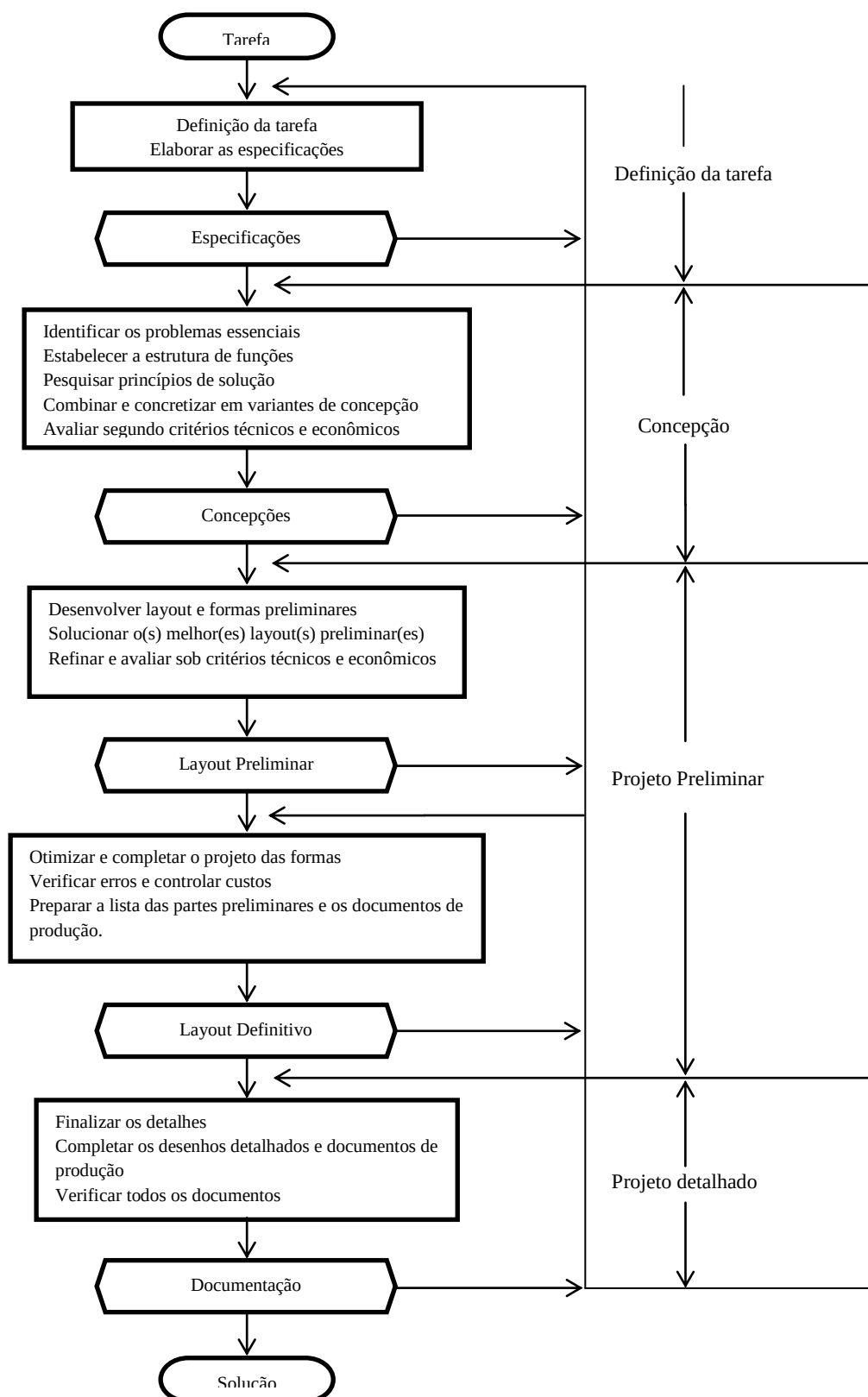
Para alcançar a solução do problema a metodologia utiliza o método de composição funcional. O processo é dividido segundo uma hierarquia buscando atingir o nível mais simples possível, onde a realização de todas as tarefas resultará na execução do produto. Divide-se em quatro fases principais: a definição da tarefa, o projeto conceitual, o projeto preliminar e o projeto detalhado. A Imagem 2 apresenta a morfologia da metodologia estabelecida por esses autores.

Na etapa de definição de tarefa é onde se estuda o problema e busca-se a elaboração da lista de requisitos, onde o departamento de projeto deverá esclarecer o problema apresentado. Tendo como ideia básica, fixar a função requerida, as grandezas de entrada e saída e as perturbações externas ao problema.

Na elaboração da lista de requisitos deve-se distinguir entre aqueles obrigatórios e os desejáveis. Os obrigatórios devem ser atendidos sob quaisquer circunstâncias. Os desejáveis devem ser atendidos em função de critérios econômicos (BACK e FORCELLINI, 2002).

O projeto conceitual, tem o objetivo de estabelecer as relações funcionais dos componentes e apresentar estruturas físicas ou concepções de projeto para a solução do problema. Logo, as especificações de projeto, definidas na fase anterior, são fundamentais (MILTON, 2004).

Imagem 2 - Etapas do processo de projeto segundo Pahl & Beitz



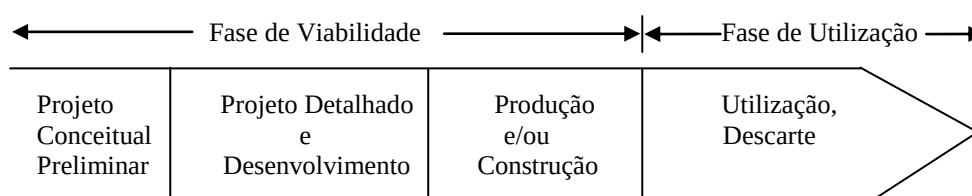
Fonte: Adaptado (MACHADO, 1997).

4.1.3. Metodologia de Projeto segundo Fabrick & Blanchard

Para estes autores, o projeto é colocado como uma função no ciclo de vida de um sistema que começa com a identificação inicial da necessidade e desenvolve-se através do planejamento, pesquisa, projeto, produção, avaliação, uso do consumidor, suporte logístico e descarte (DUFUOR, 1996). A função de projeto do sistema segue de um conjunto de requisitos e evolui através do projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado.

A Imagem 3 apresenta de forma simplificada o ciclo de vida adotado na metodologia proposta pelos autores, este é classificado em duas fases básicas: fase de viabilidade e fase de utilização.

Imagem 3 - Ciclo de vida do sistema segundo Fabrick e Blachard



Fonte: Adaptado (MACHADO, 1997).

No projeto conceitual o projetista procura aplicar seus conhecimentos em sistemas de engenharia expondo detalhes funcionais e requisitos de projeto, levando também em consideração fatores operacionais, econômicos e logísticos. Nessa fase são realizados os primeiros estudos de viabilidade e necessidades do projeto.

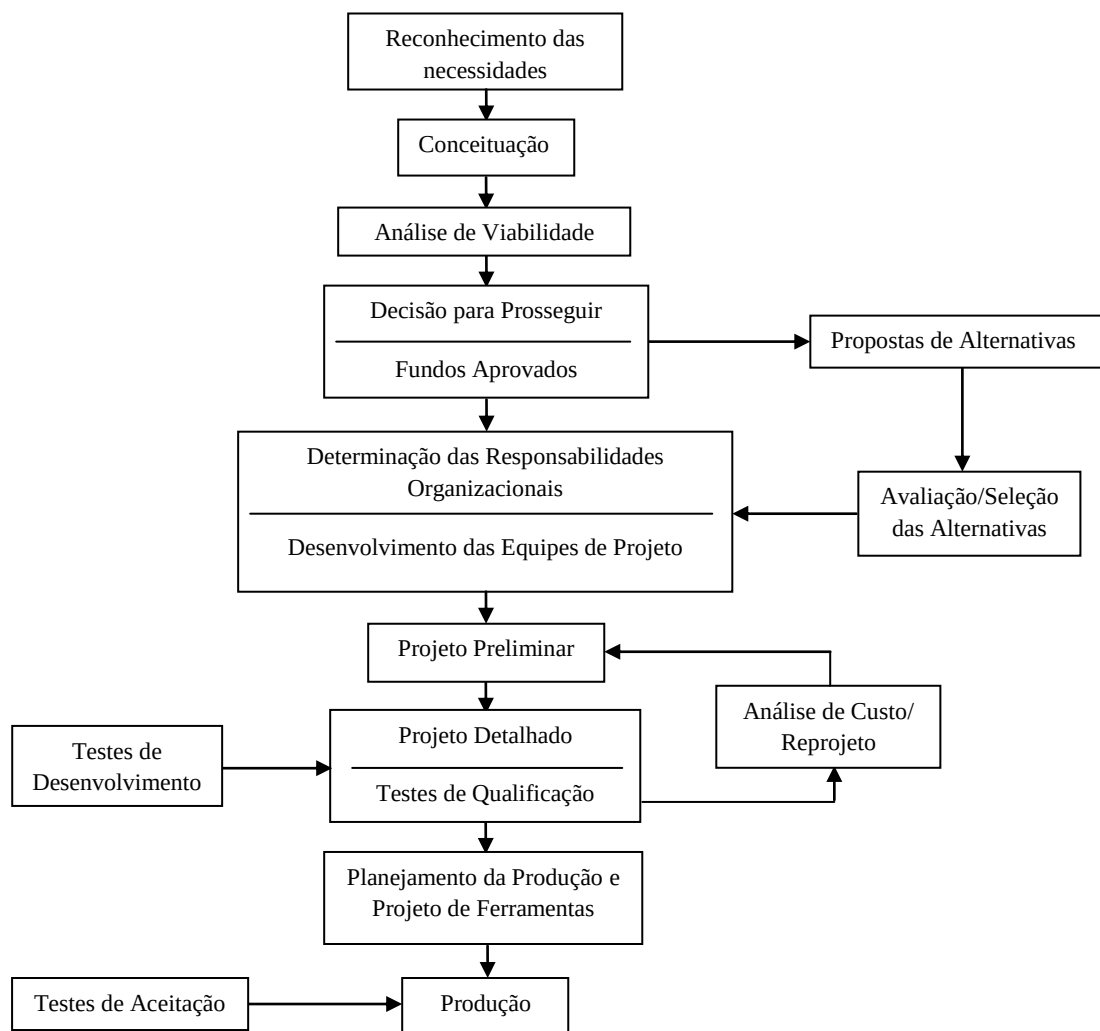
A próxima etapa enfatiza a análise funcional do sistema, fazendo uma síntese preliminar e alocação de requisitos, realização de estudos de otimização e compromisso, síntese e revisão do projeto, avaliação para função e desempenho e avaliação de custo.

O projeto detalhado inicia com uma configuração derivada de atividades do projeto preliminar. Com isso, se faz uma descrição dos subsistemas, preparação da documentação do projeto, definição e desenvolvimento de software, desenvolvimento de modelos, testes e avaliação do modelo, reprojeção e reteste do modelo quando necessário.

4.1.4. Metodologia de Projeto segundo Ertas e Jones

A metodologia proposta por esses autores é composta pelo reconhecimento das necessidades, conceituação e criatividade, determinação de viabilidade, estabelecimento dos objetivos e critérios, síntese e análise no processo de projeto, indicação das responsabilidades, projeto preliminar, projeto detalhado, planejamento da produção e projeto das ferramentas e produção (MACHADO, 1997).

Imagem 4 - Metodologia segundo Ertas e Jones (1994)



Fonte: Adaptado (MACHADO, 1997).

4.1.5. Metodologia de Projeto segundo Coryell

O autor apresenta uma sistemática de projeto composta de doze etapas, do qual se inicia com a revisão dos requisitos, onde entender as necessidades funcionais e sua importância é essencial para o prosseguimento do projeto. Em sequência, a fase de criatividade deve ser solucionada, onde algumas técnicas são utilizadas para suportá-la (BACK e FORCELLINI, 2002).

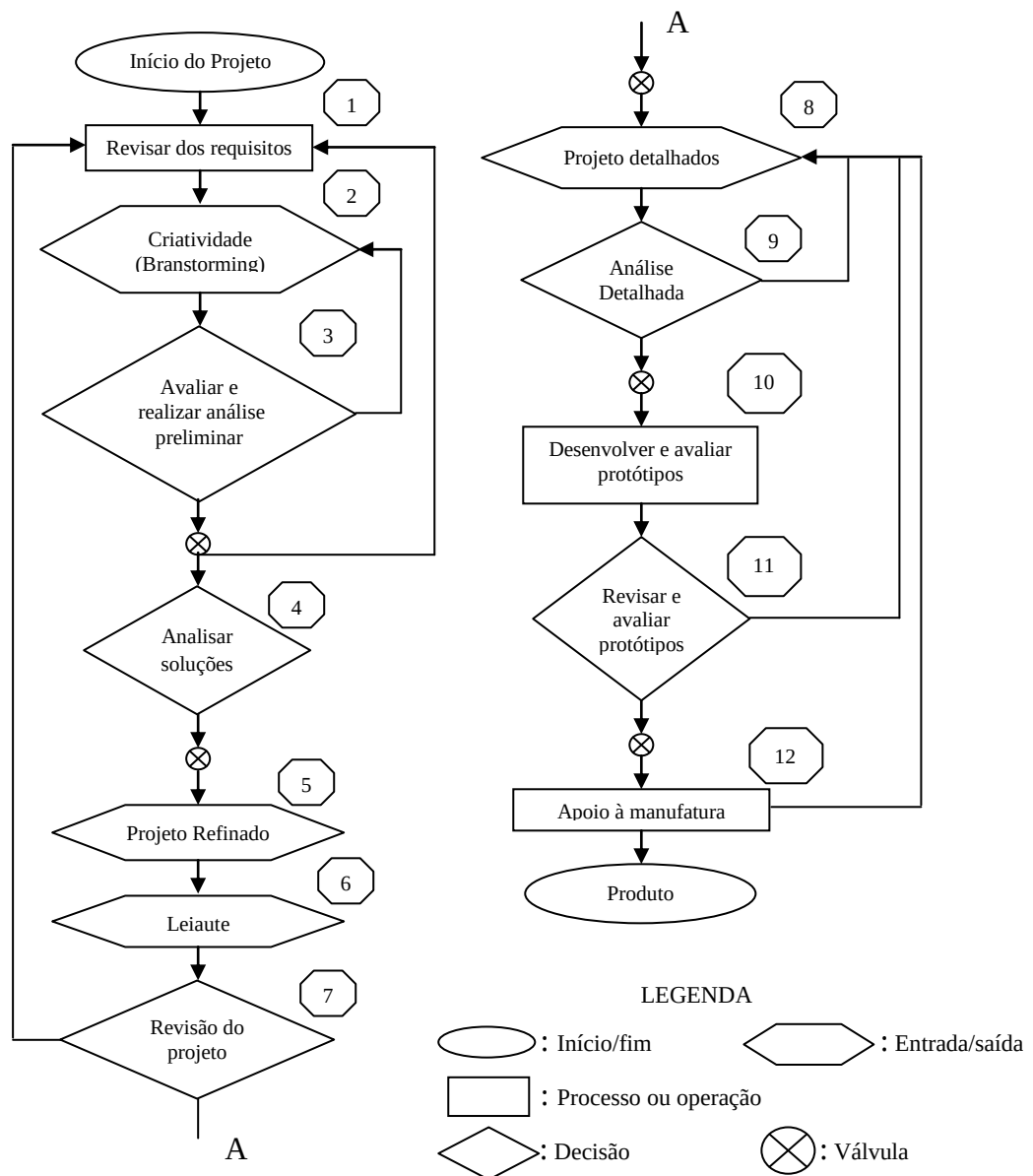
Segundo Ogliari (2007), na etapa de avaliar e efetuar a análise preliminar o custo em relação aos concorrentes e o avanço tecnológico são importantes. Nesse processo de revisão é possível eliminar funções desnecessárias e melhorar os aspectos de cada solução.

Na quarta etapa é realizada uma análise das ideias e resultados das etapas anteriores numa base de função vs. custos, chamada de análise de soluções. Na etapa de refinar o projeto, o projetista deve dar forma à coleção funcional das partes, reduzir o número de partes, padronizar, estabelecer fixações e efetuar esquemas para registros temporários das soluções, (BACK e FORCELLINI, 2002).

A fase de leiaute da solução é o resultado da fase de concepção do produto e o início da sequência do desenvolvimento físico do produto. A fase de revisão do projeto é necessária para a sua aprovação. Uma vez aceito o leiaute de projeto e a ideia, os desenhos detalhados são preparados, devem ser claros, concisos e mostrar todas as informações necessárias.

Na etapa de análise detalhada é onde se verifica o projeto e obtêm-se dados pertinentes. Em seguida inicia-se o desenvolvimento de modelos e protótipos, que dependendo da quantidade de produtos a ser produzida, dos custos e da complexidade, faz-se necessário teste final. Efetua-se então a revisão e avaliação do protótipo e finalmente o suporte a fabricação, constitui o acompanhamento da solução proposta pelo projetista, durante o processo de fabricação para decidir sobre quaisquer alterações que se façam necessárias (BACK e FORCELLINI, 2002).

Imagem 5 - Etapas do projeto segundo Coryell



Fonte: (BACK e FORCELLINI, 2002).

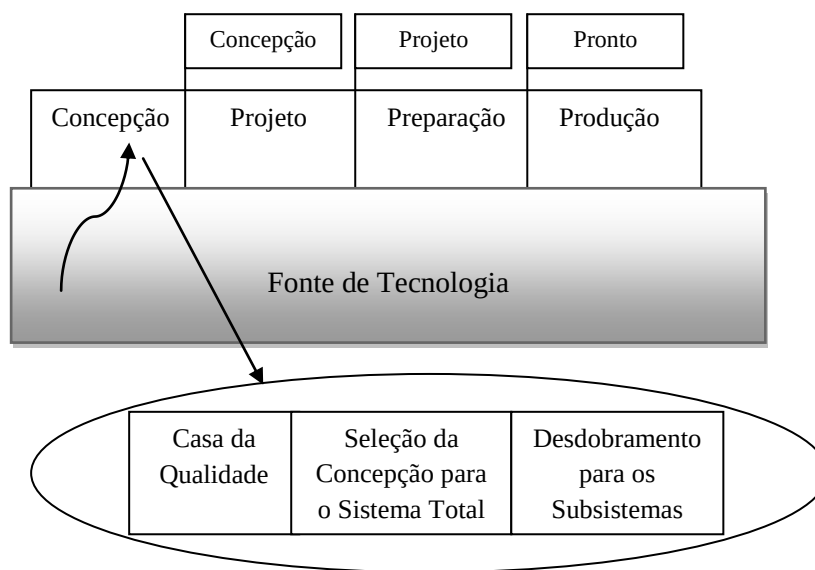
4.1.6. Metodologia de Projeto segundo Clausing

Clausing (1993) desenvolveu uma metodologia voltada para a engenharia simultânea e desenvolvimento em equipes. Esta metodologia é apresentada como solução para problemas tradicionais no ambiente de projeto. As principais fases presentes nessa metodologia são concepção, projeto e preparação. Concepção é a fase inicial e divide-se em três etapas: casa da qualidade, seleção da concepção do sistema total, desdobramento para as especificações dos

subsistemas. Nesta fase, novos processos, técnicas, materiais são estudados para sua utilização no desenvolvimento do projeto.

De acordo com Machado (1997), na fase de projeto a concepção é detalhada e avaliada segundo critérios estabelecidos na fase anterior, tendo como resultado um projeto detalhado. Na fase de preparação é realizada a preparação para a produção, do qual ao final tem-se um produto pronto para entrar em produção.

Imagem 6 - Morfologia da metodologia segundo Clausing (1993)



Fonte: Adaptado (MACHADO, 1997).

4.1.7. Metodologia de Projeto segundo Pugh

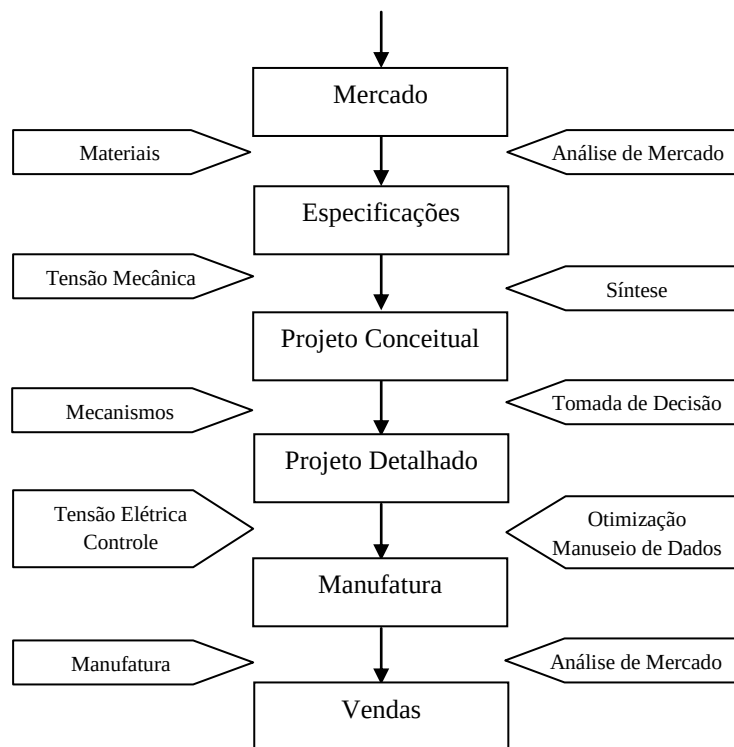
De acordo com Pugh (2002), o projeto começa e termina no mercado. As fases centrais, investigação de mercado, especificação do projeto do produto, projeto conceitual, projeto detalhado, manufatura e vendas são considerados universais e comuns para todo tipo de projeto (MELLO, 2011).

Segundo Back e Forcellini (2002), para que o projeto possa ser desenvolvido de forma eficiente torna-se necessário a utilização de técnicas que habilitam o projetista ou grupo de projeto para operar as atividades do núcleo. Estas técnicas podem ser de análise, síntese, tomada de decisão, modelagem, entre outras aplicáveis a qualquer produto ou tecnologia.

O processo de desenvolvimento de projeto mostra uma flexibilidade, pois o fluxo principal do projeto e a possibilidade que as atividades das etapas podem interagir, garantem o sucesso do produto. Na Imagem 7, o projeto não estabelece um sistema rígido e inalterável em

relação ao seu desenvolvimento, existindo a troca de informações constantes durante todo o processo.

Imagem 7 - Modelo da atividade do projeto total (1993)



Fonte: (BACK e FORCELLINI, 2002).

4.1.8. Metodologia de projeto segundo Baxter

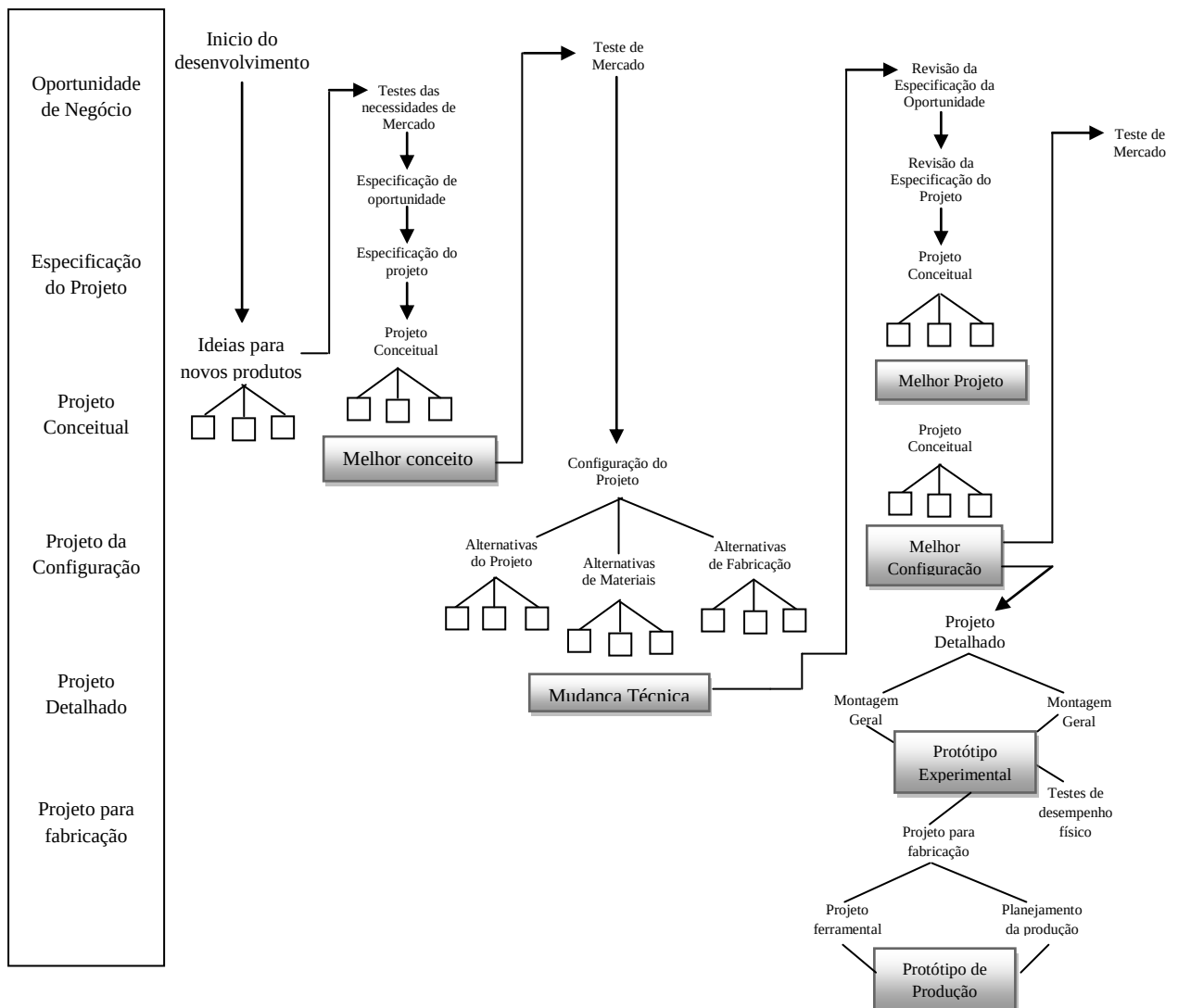
O autor destaca a importância de um planejamento e especificação antes de se realizar o projeto e o desenvolvimento do produto, pois os que são submetidos a cuidadosos estudos de viabilidade técnica e econômica antes do desenvolvimento, possuem mais chances de sucesso em relação aqueles sem estudo de viabilidade, do qual deve conter a disponibilidade de materiais, componentes, processos produtivos e mão de obra qualificada, enquanto a viabilidade econômica refere-se às necessidades de investimentos, custos e retorno de capital.

Destaca também a importância das atividades durante o projeto e o desenvolvimento de produtos, nas quais as decisões nessa fase envolvem menores riscos e incertezas, que vão se reduzindo, à medida que se tomam decisões sobre a oportunidade específica para o desenvolvimento de novo produto, projeto conceitual, a configuração do produto e o projeto detalhado.

O autor classifica as atividades durante o projeto em quatro etapas, como ilustrado na Imagem 8, a primeira etapa inicia-se com a exploração de algumas ideias para um teste de mercado, a segunda inclui a especificação da oportunidade, especificação do projeto e volta-se, então para o projeto conceitual, para selecionar o melhor conceito. Na terceira etapa, o conceito selecionado é submetido a um segundo teste de mercado, se for satisfatório, deverão ser iniciadas as atividades de configuração do produto, se não, mudanças podem ocorrer no projeto e se necessário retroceder a especificação de oportunidade. Retoma-se então à configuração do produto, e assim selecionar a que melhor está de acordo com as especificações do projeto e ir para o terceiro teste de mercado (CASTRO, 2014).

Na quarta etapa é feito os desenhos detalhados do produto e seus componentes, desenhos para fabricação e construção do protótipo. Depois da aprovação do protótipo finaliza-se o processo de desenvolvimento do produto.

Imagem 8 - Atividades de projeto nas diferentes etapas do desenvolvimento de produto



Fonte: MIKE BAXTER (2000).

4.2. PRINCIPAIS ASPECTOS

As ideias básicas apresentadas mostram alguns fatores que levam a adoção de procedimentos sistemáticos para o processo de projeto, do qual evidencia as vantagens do uso de metodologias de projeto. A divisão das tarefas não reduz a complexidade das atividades, porém, estabelece uma orientação básica que dá uma ideia geral do que deve ser feito no início do projeto, que caminhos devem ser seguidos e a que resultados devem-se chegar, afirmam (BACK e FORCELLINI, 2002).

As diferentes abordagens quanto às metodologias de projeto, faz com que não exista um modelo geral que possa ser adequada à solução de todo tipo de problema. Os modelos

apresentados possuem um processo de projeto com atividades com objetivos específicos que, ao serem executados, obtém-se uma solução para o problema inicial. Alguns aspectos importantes podem ser observados, como a forma como os processos são estruturados em duas dimensões. A dimensão vertical que corresponde às varias fases do processo e a horizontal representa as atividades de resolução de problemas que estão presentes nas varias fases da estrutura vertical (BACK e FORCELLINI, 2002).

A realimentação de informações entre as etapas caracteriza um aspecto dinâmico do processo de projeto e mostra que o nível de informação em cada atividade não é definitivo e muitas vezes não suficiente. Apesar de os objetivos de cada etapa ser bem definido, não fica claro quando uma etapa é concluída ou não, pois os objetivos alcançados nem sempre são definitivos. Com isso, em cada etapa o nível de informação deve ser o maior possível para que a conclusão de cada etapa possa ser considerada com mais confiança e mais adequada.

4.3. ROUTER CNC

As máquinas convencionais dependiam extremamente da destreza do operador, logo com a automação, a sua atuação fica agora restrita à supervisão de uma ou várias máquinas, sem interferência direta no processo de produção. Para que essa evolução chegasse às máquinas operatrizes, muitos estudos e desenvolvimentos foram necessários, desde elementos de máquinas e tipos de acionamentos até sistemas de controle, (COUTINHO e SANTIAGO, 2014).

Uma Router CNC consiste em uma máquina fresadora de portal, composta de estrutura estática, mecânica e eletroeletrônica, que possui três eixos de movimento controlados por comandos numéricos onde oferece extrema precisão, qualidade e automatização na fabricação de peças.

De acordo com, Eich (2014), o controle de movimentação dos eixos da Router CNC, são realizadas pelos sistemas de controle que fazem a interface do homem com a máquina, ou seja, um equipamento em que o operador da máquina pode visualizar em que posição a máquina se encontra, se está no avanço correto entre outros parâmetros.

Muito utilizada nas indústrias para a produção de peças seriadas e também na produção de peças complexas que se tornariam inviáveis a produção em uma fresadora comum (COUTINHO e SANTIAGO, 2014).

5. METODOLOGIA DE PROJETO PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO SOB ENCOMENDA

As metodologias apresentadas são aplicadas para o desenvolvimento de produtos industriais, que possuem uma produção contínua e tendem a ter um alto grau de automatização e a produzir produtos bastante padronizados, dos quais apresentam uma diferença em relação aos produtos sob encomenda, onde o cliente apresenta seu próprio projeto de produto, devendo ser seguidas suas especificações na fabricação. Os processos por projeto têm como finalidade o atendimento de uma necessidade específica de um cliente, com uma data específica para ser concluído e deve ser concebido em estreita ligação com o cliente (SANTOS apud, TURBINO, 1999).

Quadro 1- Diferença dos Produtos Industriais x Sob Encomenda

Características	Produtos Industriais	Produtos sob encomenda
Produção / Fabricação	Massa ou lotes	Pequenos lotes ou tiragem única;
Qualidade	Medida no produto final	Medida durante a fabricação
Sistema de produção	Contínuo / flexível	Dedicado e exclusivo
Atendimento de necessidades	Grandes grupos e nichos de mercado	Necessidades individuais, demandas específicas
Metas consideradas	Produção (quantidade de produtos produzidos)	Fabricação (atendimento das atividades previstas em cronograma)
Grau de customização	Baixo ou nenhum	Elevado ou totalmente
Divisão das tarefas	Processos divididos com pequenas tarefas	Atividades de processamento no produto
Cronograma	Gargalos na produção	Atividades Críticas
Fatores determinantes para aquisição	Preços	Prazos, matéria prima, necessidade e oportunidade do mercado
Garantia	Regulamentada em Manual ou em Lei	Estipulada em contrato

Fonte: (SANTOS, 2010).

O Quadro 1 mostra as principais diferenças entre os dois tipos de produtos, deixando claro que os produtos sob encomenda apresentam requisitos mais específicos e exigem maior atenção no seu desenvolvimento para que metas, exigências, prazos, qualidade e outras condições sejam satisfeitas. Com isso, tem-se a necessidade de uma metodologia própria para o desenvolvimento desse tipo de produto.

O desenvolvimento de projetos é um processo que se repete diversas vezes até se chegar a um resultado, gerando resultados parciais que serão usados posteriormente, seguindo uma sequência de passos que indicam a maneira como se desenvolve o produto para se chegar a um resultado final.

De acordo com Pahl e Beitz (1996), dividir o processo de desenvolvimento de produtos entre etapas de trabalho e etapas de decisão assegura a ligação necessária entre objetivos, planejamento e execução. Para obter o máximo do negócio deve-se usar um procedimento dividido em fases alternando pontos de verificação. Com isso, segue-se então a metodologia para o desenvolvimento de um equipamento sob encomenda.

5.1. IDENTIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS / NECESSIDADES

Inicialmente para o desenvolvimento do projeto deve ser estudado o problema que deu origem a necessidade de construir o produto, onde se realiza uma análise detalhada buscando informações suficientes para o completo entendimento do problema. Algumas questões como, porque desenvolver tal produto, as vantagens e os benefícios que se pode ter com o seu desenvolvimento e outros questionamentos que envolvam o projeto, devem ser esclarecidas afim de facilitar o desenvolvimento do equipamento e consequentemente o desempenho de quem o utiliza e melhorar a qualidade do produto que venha a ser desenvolvido pelo mesmo.

Esta fase proporciona o entendimento e a descrição do problema, formalizando a tarefa do projeto, fornecendo a base para a qual serão montados os critérios de avaliação e de tomada de decisão, utilizada nas etapas posteriores do processo de projeto (BACK e FORCELLINI, 2002).

Para esclarecer o problema deve-se objetivar a clareza da tarefa e elaboração das especificações de projeto. O primeiro objetivo é alcançado através de uma série de atividades voltadas a recolher informações sobre o problema a ser resolvido, obtidas através de entrevistas com clientes envolvidos com o projeto. O segundo objetivo é alcançado pela tradução de todas as necessidades dos clientes do projeto na forma de requisitos para o projeto, dispostos na forma de hierarquia para priorizar os requisitos mais importantes durante as tomadas de decisões que ocorrerão durante o desenvolvimento do projeto (CASTRO apud PEREIRA, 2004).

Back e Forcellini (2002), afirmam que esta etapa compreende basicamente três passos básicos:

- Estudo e identificação das necessidades junto aos clientes do projeto;
- Definição dos requisitos gerais que a solução desejada deve preencher para satisfação das necessidades dos clientes;
- Elaboração das especificações do projeto.

5.1.1. Identificação das necessidades

Como esclarecido anteriormente, o surgimento de um problema faz com que haja a necessidade de desenvolver um produto novo, adaptá-lo, ou ainda melhorar produtos já existentes, no intuito de suprir essas necessidades. Logo, para melhor entender o problema, identificam-se os requisitos desejados, através de questionários, pesquisas ou qualquer outra forma que seja possível coletar essas informações de maneira precisa e esclarecedora.

As necessidades são informações que tendem a expressar os desejos dos clientes, portanto, devem ser definidas pelo cliente junto ao projetista, onde é esclarecido o que deve ser desenvolvido de acordo com sua pretensão. Essa etapa é de extrema importância, pois são essas informações iniciais que fazem com que o projeto continue juntamente com o desenvolvimento das próximas fases.

5.1.2. Definição dos requisitos gerais

Existem algumas maneiras de obter-se um conjunto de requisitos de projeto, uma delas é através da análise do ciclo de vida do produto por meio de perguntas como proposto por Blanchard e Fabricky. Outra maneira seria utilizando a técnica de QFD, também chamada de Casa da Qualidade, entendida como um mapa conceitual que permite um planejamento interfuncional e comunicativo entre os setores responsáveis pelo desenvolvimento do produto em todas as suas etapas (BACK e FORCELLINI, 2002).

O QFD é uma ferramenta que assegura qualidade ainda na fase de projeto, permitindo uma diminuição no tempo de desenvolvimento pela redução do número de mudanças de projeto. A construção inicia-se com a identificação das necessidades dos clientes (NC), com as características que se consideram mais relevantes, das quais são arranjadas em grupos que representam um conceito amplo do consumidor.

5.1.3. Elaboração das especificações de projeto

É necessário um conjunto de informações completas e sem ambiguidades, que será utilizado como base para o desenvolvimento das etapas posteriores do processo de projeto (BACK e FORCELLINI, 2002), sendo estas informações mais gerais, como características que o produto deve apresentar, para que as informações mais específicas possam ser definidas

mais facilmente. Essas especificações podem ser identificadas na Casa da Qualidade, das quais determinam como será o projeto final, contendo apenas aquilo que foi definido.

5.2. PLANEJAMENTO

O planejamento inicia-se com o estudo em relação ao projeto, onde as informações coletadas na fase anterior serão especificadas e melhor definidas para o desenvolvimento do produto.

Decisões são tomadas em relação ao desenvolvimento de produtos, procurando auxiliar e pré-determinar as atividades a serem seguidas, determinando o escopo do projeto. As características gerais devem ser esclarecidas, assim como as especificações, que se referem aos aspectos técnicos do produto, devendo apresentar flexibilidade para comportar soluções inovadoras, que podem ocorrer durante o processo de desenvolvimento. São fundamentais os detalhes do projeto para que o projetista possa saber se o produto desenvolvido atende aos objetivos propostos (CASTRO apud BAXTER, 2000).

Os principais pontos a serem abordados em torno do planejamento são:

- Pesquisar informações sobre o tema do projeto:
 - Informações técnicas;
 - Estabelecer o ciclo de vida do produto;
 - Seu funcionamento;
- Análise de ideias em torno das necessidades do cliente;
- Estabelecer os requisitos do projeto (informações fundamentais para a fase de projeto);
- Estabelecer as especificações do projeto (definição das características).

Os pontos listados devem ser analisados de acordo com as necessidades do projeto, que devem satisfazer os resultados esperados, dependendo do objetivo do equipamento. É necessário um conjunto de informações completas e sem ambiguidades, que será utilizado como base para o desenvolvimento das etapas posteriores. O planejamento torna-se importante, pois inicia o projeto e facilita a continuação do mesmo. Logo, com as informações coletadas nesta fase é possível determinar quais as funções e propriedades presentes no projeto final, mas dependendo do produto a ser desenvolvido, podem ser determinadas até mesmo na fase inicial.

5.3. PROJETO CONCEITUAL

O projeto conceitual é importante para o processo de desenvolvimento de produtos, pois as decisões tomadas nesta fase irão influenciar as etapas seguintes. Onde, será desenvolvida a concepção de um produto que possa suprir da melhor forma possível os objetivos de acordo com as necessidades esclarecidas, considerando as limitações e restrições, definidas no planejamento. Dependendo do produto a ser desenvolvido, outras concepções podem ser geradas, logo deve ser selecionada aquela que melhor atende aos requisitos do projeto como metas de qualidade, segurança, entre outras que devem ser especificadas de acordo com a necessidade.

O primeiro objetivo da geração de conceitos é confirmar que o produto irá operar conforme as previsões e com razoável desenvolvimento posterior e que o mesmo irá atender os requisitos definidos (ULLMANN, 1997).

Propósitos que são indicados para a fase de projeto conceitual são:

- Estabelecer as funções do produto;
- Estimular o processo criativo e gerar princípios de solução;
- Estabelecer as concepções alternativas para o produto;
- Selecionar e avaliar os princípios de solução apresentados.

Esses pontos serão utilizados para propor soluções, combinar princípios de soluções, levantar informações, estabelecer requisitos, avaliar concepções que, utilizados em conjunto, potencializam a transformação de um problema de projeto na concepção de um produto. Os primeiros layouts devem ser desenvolvidos nessa fase, onde são aplicadas as concepções definidas.

5.3.1. Compreensão aprofundada

A compreensão traduz as necessidades e restrições identificadas em requisitos técnicos, funcionais, ergonômicos e de estilo. Ou seja, procura-se compreender a função do produto para que em seguida alternativas sejam geradas para o desenvolvimento de concepções.

Nesta etapa, dois pontos principais devem ser considerados, o primeiro conhecido por abstração desenvolve a estrutura de funções do produto, ou seja, o que o produto deverá fazer, desconsiderando soluções técnicas conhecidas. E o segundo chamado de síntese, busca-se

estabelecer como o produto deverá fazer para satisfazer as funções definidas na forma de princípios físicos, químicos ou biológicos. Inicia-se o processo de realização do produto, ainda num estágio conceitual, em nível de princípios de solução (BASSETO, 2004).

O projeto conceitual deve ser realizado fazendo-se uma análise das especificações, anotando todos os requisitos que restringem o projeto, ressaltando a importância de flexibilizar as restrições a fim de incentivar a criatividade, logo ao permitir uma maior liberdade criativa, é possível atingir uma maior abrangência de conceitos que pode proporcionar melhores alternativas.

De acordo com Neto e Favaretto (2005 apud BONO, 1994), a importância da identificação do conceito está na possibilidade de usá-los como “ponto fixo” para desenvolver alternativas que possam satisfazer um conjunto de necessidades. Quando o conceito é identificado podem-se aperfeiçoar as soluções que o materializam buscando novas alternativas, das quais podem ser mais originais e inovadoras que as que se dispõe no momento.

5.3.2. Elaboração de alternativas

O objetivo singular desta etapa é estabelecer as relações funcionais dos componentes e apresentar estruturas físicas ou concepções de projeto para a solução do problema, do qual depende principalmente das especificações de projeto estabelecidas. Dessa forma, objetiva-se o estabelecimento de estruturas funcionais, busca de princípios de soluções apropriadas e a sua combinação, no qual o caminho de uma solução básica é traçado através da elaboração de uma solução conceitual (CASTRO, 2014).

Desenvolvem-se então, as possíveis soluções que atendam os requisitos e estabelece uma ampla gama de alternativas de produtos. Do qual, com o apoio de métodos à criatividade, princípios de soluções devem ser encontrados, onde serão avaliados, para um posterior amadurecimento, onde podem ser empregados métodos para geração de ideias e concepções, como o brainstorming, matriz morfológica, listagem dos atributos.

O detalhamento da concepção criada nessa etapa deve ser suficiente para que haja continuidade do projeto nas fases seguintes e seja possível realizar uma análise de viabilidade. Portanto a concepção deve ser capaz de representar os princípios de soluções para as funções (AZEVEDO, 2014).

5.3.3. Verificação

Avalia e escolhe entre as alternativas encontradas, aquelas associadas aos melhores conceitos. Onde deverão ser definidas as linhas básicas em termos de forma e função do produto, sem preocupar-se com soluções tecnicamente viáveis. Durante esta etapa do desenvolvimento deve-se evitar o excesso de restrições, ou seja, todas as alternativas são válidas para atender às necessidades especificadas (NETO e FAVARETTO, 2005).

5.4. PROJETO PRELIMINAR

Antes de iniciar o projeto preliminar, devem ser realizados estudos de viabilidade, dentre os quais está à viabilidade física, que prova se um produto é fisicamente viável ou não, onde deve ser realizado de forma detalhada garantindo assim um resultado confiável.

Com isso, inicia-se o projeto preliminar que tem o objetivo de determinar qual entre as alternativas propostas mostra ter a melhor concepção para o projeto, onde as possíveis soluções são analisadas. Contudo, são iniciados os estudos de síntese que estabelecem as tolerâncias dentro do qual os principais parâmetros do projeto devem ser controlados.

Esta fase caracteriza-se por tratar da configuração do produto, tendo como entrada informações vindas das fases anteriores, que compreendem as especificações de projeto. Onde é realizado o desdobramento ou estruturação do produto de forma detalhada, compreendendo basicamente sistemas, subsistemas, peças e componentes, de maneira a serem desenvolvidos em separado. Realizam-se também atividades de dimensionamento, seleção de materiais, sendo utilizadas diferentes técnicas, métodos e ferramentas (AREND, 2003).

Logo, o projeto adquire nesta fase um escopo mais técnico, visto que os conceitos bem estabelecidos durante o projeto conceitual é desenvolvido de acordo com critérios técnicos e econômicos, e algumas informações adicionais que contribuirão para a produção final. Dessa forma, o projeto inclui alguns detalhes essenciais como forma de componentes do produto, suas funções e materiais.

O projeto preliminar ou anteprojeto apresenta três regras básicas: clareza, simplicidade e segurança. Por clareza entende-se evitar ambiguidades na concepção, no arranjo e geometria. O que permite um melhor entendimento das tensões atuantes, aumentando a confiabilidade e segurança. Já a simplicidade significa um projeto não composto, procurando especificar peças simétricas e formas geométricas apropriadas para os princípios matemáticos de resistência dos materiais. A segurança de um projeto pode ser: direta, indireta e preventiva.

Usa-se a direta, quando o projeto por si mesmo oferece segurança, a indireta faz uso de dispositivos de proteção e a segurança preventiva emprega sinalizadores e marcadores (NEIS, 2003).

O resultado de estudo preliminar possibilita a geração de cronograma básico de desenvolvimento e garante que somente serão desenvolvidos os requisitos que fazem parte do escopo do projeto. Assim, o projeto preliminar inclui as seguintes tarefas:

- Os conceitos definidos no projeto conceitual serão agrupados para que o equipamento seja então estruturado;
- O dimensionamento do equipamento e de suas peças;
- Seleção de material para a fabricação;
- Informar os critérios de segurança que devem ser seguidos;
- Refinar e avaliar sob critérios técnicos e econômicos;
- Otimizar e completar o projeto das formas;
- Verificar erros e controlar custos;
- Preparar a lista de partes preliminares e documentos de produção.

Nesta fase estabelece-se um programa do projeto a ser elaborado, onde capacidades são determinadas, dimensões são calculadas, o desgaste é considerado, partes são detalhadas, entre outras. Assim todos os componentes são bem definidos, testados e modificados de acordo com as exigências e a máquina ou sistema torna-se inteiramente desenvolvido, ou seja, chega-se a um produto fabricável (MACHADO, 1997).

5.5. PROJETO DETALHADO

O projeto detalhado dá continuidade à fase anterior, tendo como objetivo desenvolver e finalizar o projeto, no sentido de serem concluídos desenhos, documentações e dimensionamentos para então serem encaminhados à manufatura. Na documentação se enquadram manuais de operação e manutenção, prescrições de montagem, transporte, instruções para testes e controle de qualidade. Onde são efetuadas otimizações de detalhes e especificações com respeito à forma, material, ajustes, as tolerâncias, os acabamentos necessários, podendo ser indicadas como serão realizadas as montagens das partes, equipamentos de suporte, treinamentos, entre outras especificações que dependem do andamento do projeto e do equipamento a ser desenvolvido.

No detalhamento do projeto não é necessário aplicar métodos especiais para cada passo individual. É sempre recomendado proceder do qualitativo ao quantitativo, do abstrato ao concreto, do desenho de conjunto para o detalhamento e prever etapas de verificação e se necessário, para correções (PAHL & BEITZ apud BOLGENHAGEN, 2003). O detalhamento é a parte que complementa a estrutura de construção, por meio de prescrições definitivas para a forma, o dimensionamento e o acabamento superficial de todos os componentes.

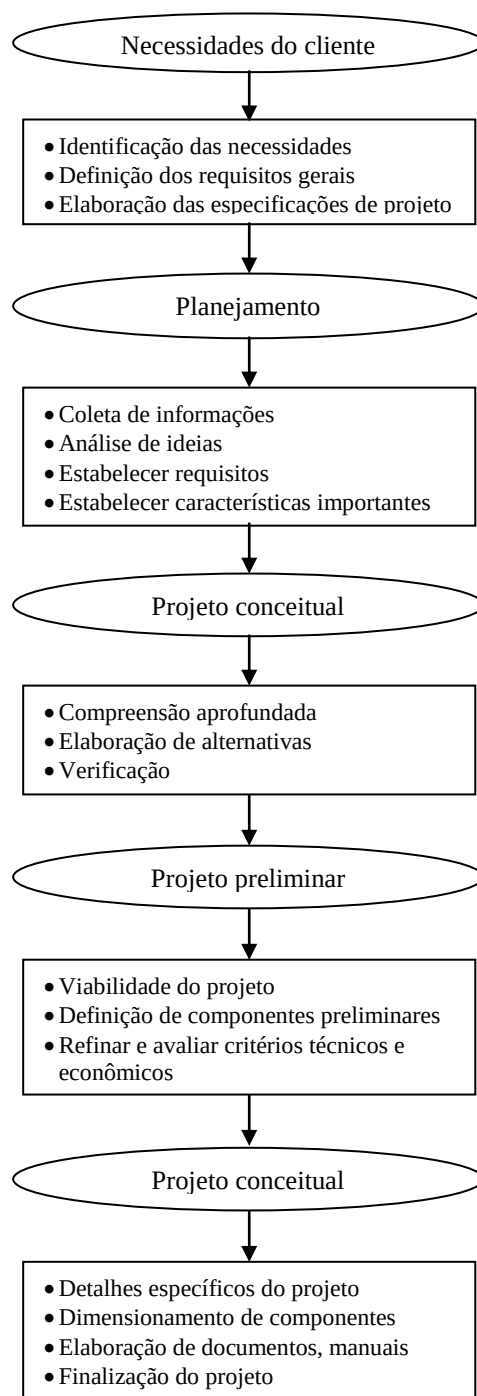
O desenvolvimento do layout deve ser levado até o ponto onde uma verificação clara da função, durabilidade, produção, montagem, operação e custos possam ser feitas. O nível de detalhamento a ser alcançado nessa etapa deve incluir o estabelecimento do leiaute definitivo, projeto preliminar das formas (formato de componentes e materiais), procedimentos de produção e estabelecimento de soluções para qualquer função auxiliar (PAHL & BEITZ apud FORCELLINI; BACK, 2002).

Alguns passos podem ser seguidos para o desenvolvimento do projeto detalhado:

- Detalhamento
 - Elaborar layouts detalhados e desenhos de forma;
 - Calcular e desenhar SSCs
 - Especificar tolerâncias;
 - Configurar produto;
 - Integrar os SSCs.
- Aquisição
 - Planejar processo de fabricação e montagem;
 - Decidir fazer ou comprar o SSCs:
 1. Custos
 2. Equipamentos
 3. Escala
 4. Estratégia
- Otimização
 - Otimizar produtos e processos;
 - Avaliar SSCs.

A fase de projeto detalhado é responsável basicamente pela finalização do processo, garantindo que o equipamento realize os requisitos e os objetivos definidos inicialmente, e pelo encaminhamento da documentação para a produção.

Imagem 9 – Fluxograma da metodologia de projeto para desenvolvimento de equipamentos sob encomenda



Fonte: Autoria própria, 2018.

6. CONSOLIDAÇÃO DA METODOLOGIA DE PROJETO

Com a criação da nova metodologia aplica-se ao desenvolvimento de um equipamento sob encomenda, onde tal produto a ser desenvolvido seria o Router CNC, sendo esta uma máquina controlada via computador para a usinagem de diversos tipos de materiais, cujo trabalho enfoca-se na usinagem da madeira. Portanto, seguindo os passos definidos anteriormente, verifica-se a metodologia criada a partir do desenvolvimento do produto.

6.1. IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES / PROBLEMAS

Muitos estudos são direcionados para a melhoria dos processos de usinagem da madeira como forma de promover melhorias no sistema produtivo, melhorando a eficiência e a competitividade dos produtos. A grande deficiência na qualidade final dos produtos de madeira é decorrente principalmente de ineficiências no setor de usinagem e acabamentos superficiais da madeira.

Com isso surge a necessidade de desenvolver um equipamento que realize trabalhos na madeira e permita que o acabamento final seja de qualidade. No entanto, existem diversos tipos de processo de usinagem para esse tipo de material, como: furação, serramento e fresamento, porém esses processos não trazem a qualidade final desejada, não desempenham o objetivo determinado e não realizam trabalhos de diferentes formas, sendo este um dos principais problemas encontrados.

Logo, o Router CNC tem a função de executar usinagens leves, principalmente na madeira, realizando desenhos bem mais elaborados, pois além de utilizar um computador que envia comandos para a máquina, realiza os movimentos em três dimensões (3D), o que permite eficiência na usinagem e na qualidade final do produto.

Outras necessidades foram definidas pelo cliente, dentre as quais o equipamento deve apresentar velocidade nos movimentos, baixa complexidade na realização dos movimentos, emitir um baixo ruído, baixo peso facilitando a locomoção do equipamento para que o trabalho possa ser realizado em diversas superfícies, fácil manutenção, facilidade na troca de componentes, possuir um design agradável, ser constituído de materiais de qualidade e realizar trabalhos sem precisar o contato direto do operador com a ferramenta, dos quais se evitam possíveis lesões.

Utilizando a Casa da Qualidade ou QFD, relacionam-se as necessidades do cliente (NC) com os requisitos de qualidade (RQ), onde serão melhor definidos os requisitos de

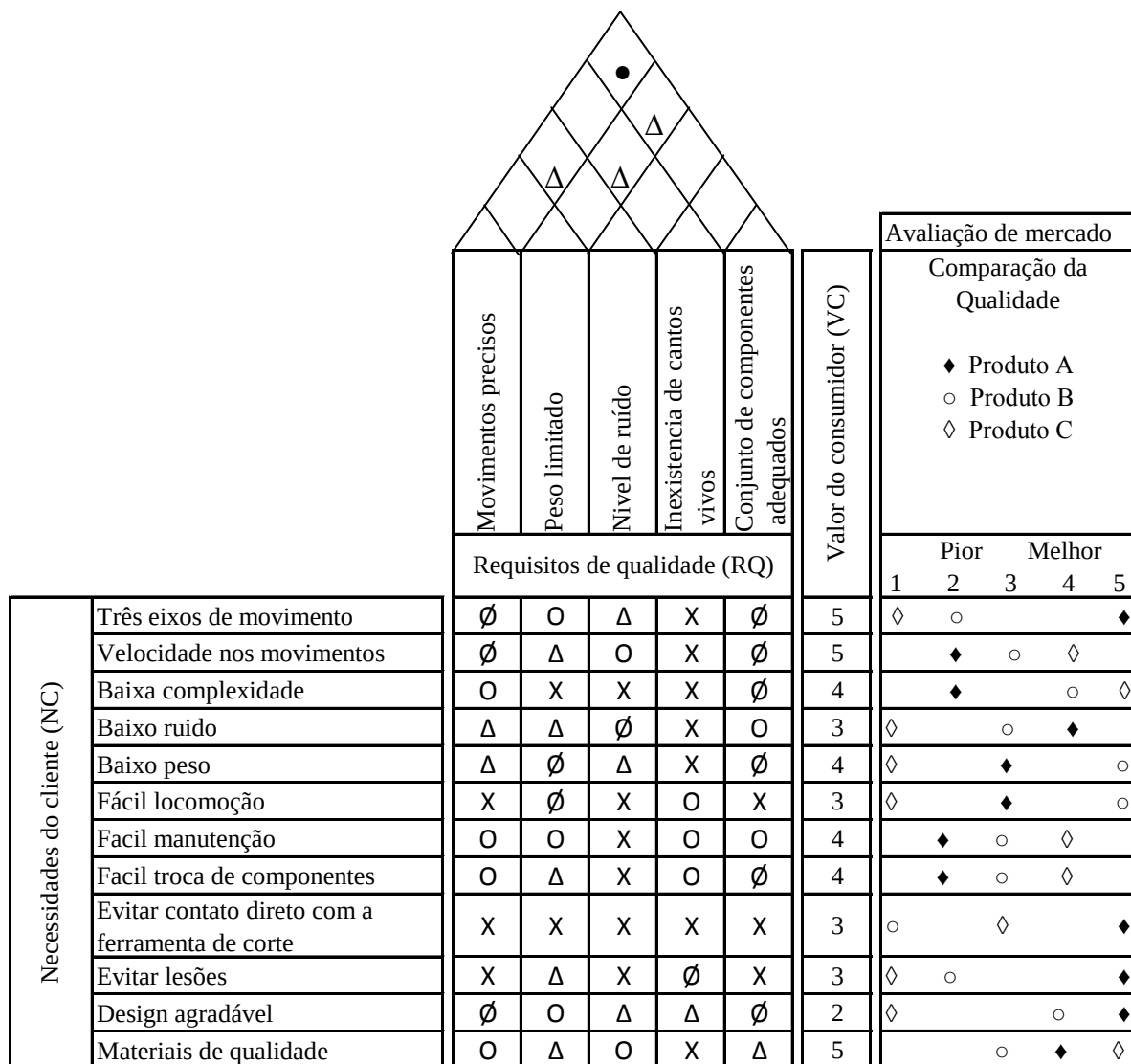
projeto para auxiliar no planejamento do produto, do qual esta nos conduzirá na elaboração das especificações de forma a refletir as reais necessidades do consumidor.

Um dos objetivos da QFD é fazer um comparativo do produto a ser desenvolvido com produtos concorrentes que realizam a mesma atividade ou atividades similares. Com isso, realiza-se uma comparação entre os produtos que realizam trabalhos na madeira, como a Serra de Fita e a Esquadrejadeira, que realizam trabalhos manuais simples quando comparados com o Router CNC que realiza tarefas mais elaboradas. Logo, com uma avaliação de mercado, observam-se quais desses equipamentos realizam e apresentam as necessidades do cliente. Seguindo alguns passos para o desenvolvimento do equipamento tem-se a Casa da Qualidade representada na Imagem 10.

Com a classificação por importância, observa-se que o conjunto de componentes adequados seria o requisito que exige mais atenção para que se obtenham bons resultados e a inexistência de cantos vivos seria o requisito de menor importância.

A avaliação de mercado evidência que características presentes nos produtos concorrentes, apresentam melhores desempenhos como a velocidade dos movimentos, a complexidade no manuseio do equipamento, facilidade na manutenção e na troca de componentes. Isso ocorre devido à atividade que o equipamento realiza, como os produtos concorrentes obtêm apenas o corte da madeira, sendo esta uma atividade relativamente simples, a velocidade dos movimentos torna-se rápida e não há dificuldade alguma em realizá-los, já que o Router CNC requer mais conhecimento de programação.

Imagem 10 - A Casa da Qualidade



Valor da importância VC x RQ	118	88	56	50	146
Classificação por importância	2°	3°	4°	5°	1°

Grau de Relacionamento (GR) Necessidade do consumidor X Requisitos de qualidade
∅ forte relacionamento (5)
○ medio relacionamento (3)
△ fraco relacionamento (1)
×
nulo relacionamento (0)

Tipo de relacionamento entre os requisitos da qualidade
● Fortemente positivo
○ Positivo
△ Negativo
▲ Fortemente negativo

Fonte: Autoria própria. Router CNC (◆). Serra de Fita (○). Esquadrejadeira (◇).

6.2. PLANEJAMENTO

Nessa fase deve ser coletado o máximo de informações possíveis para o início do planejamento acerca do produto, onde tais informações serão analisadas e posteriormente conceituadas para que o equipamento seja desenvolvido.

O Router CNC é muito semelhante ao conceito de uma fresadora, porém, ao invés de roteamento à mão, caminhos de ferramenta são controlados via computador. Sendo este um dos muitos tipos de ferramentas que tem variantes CNC, do qual é um sistema que permite o controle de máquinas, sendo utilizado principalmente em tornos e centros de usinagem.

Idealizado para usinagens leves, utilizado para realizar cortes e gravações, dos mais diversos tipos de desenhos, sobre materiais frequentemente macios e não ferrosos como madeiras em geral (MDF, HDF, MDP, OSB), compensado naval, plásticos em geral, PVC expandido, ACM, acrílico, celeron, alumínio naval, entre outros. A seguir, têm-se especificações e requisitos a respeito do equipamento:

- Trabalha com três eixos, para o controle do movimento em 3D;
- Partes do projeto são projetadas no computador com um programa de CAD / CAM;
- O corte é realizado automaticamente por um roteador ou cortadores para produzir a peça acabada;
- Apesar de usinar outros materiais, esse equipamento será desenvolvido para trabalhos realizados na madeira;
- Os eixos se movimentam simultaneamente, executadas por programas e são controladas pela mesma interface;
- Os eixos se movimentam, enquanto a mesa permanece imóvel;
- Normalmente possui dutos de ar, para sugar as lascas de madeira e pó criados;
- Motores elétricos onde a precisão do movimento é necessária são os mais recomendados a serem utilizados em máquinas CNC;
- O sistema de movimentação é realizado por meio de fusos conectados aos eixos, dos quais serão acionados pelos motores, para que o movimento seja mais preciso;
- A velocidade de avanço depende da velocidade do motor e do fuso, para que não seja exigido um torque muito elevado fornecido pelos motores.

6.3. PROJETO CONCEITUAL

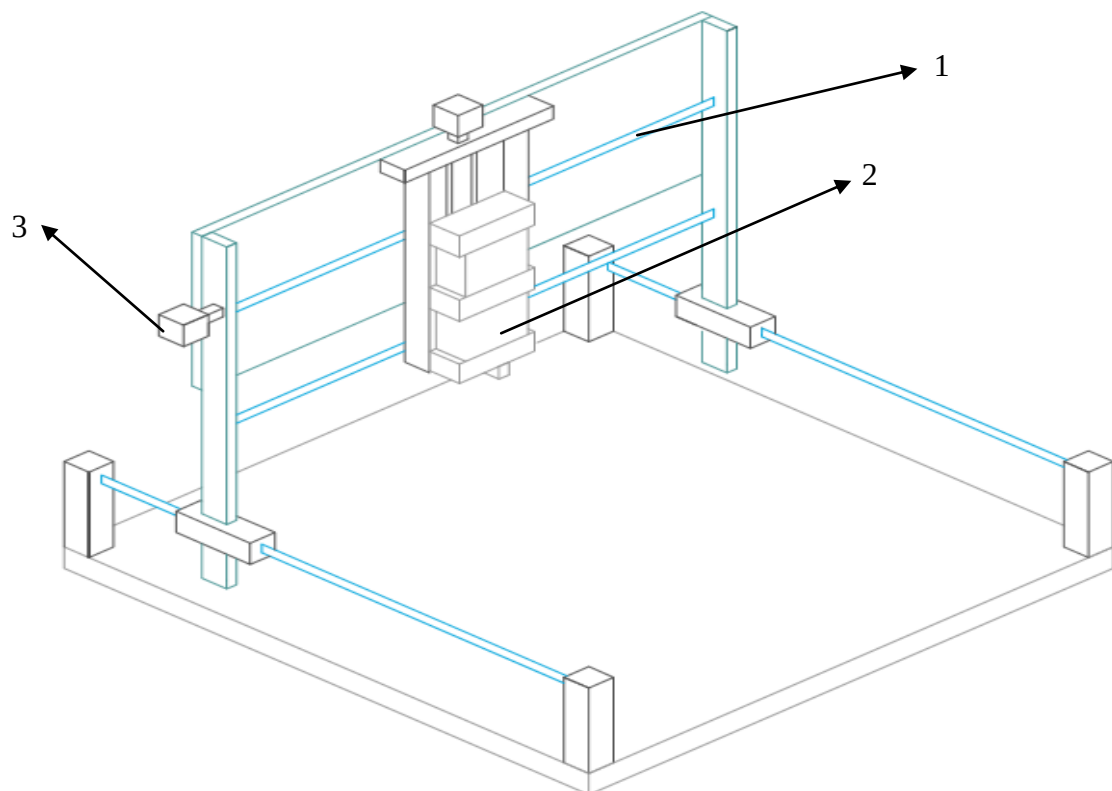
Nesta fase serão aplicados os conhecimentos de engenharia para o início do projeto, onde as especificações e requisitos do planejamento serão esclarecidos e conceituados para que o equipamento seja então construído. Todos os componentes presentes no equipamento são de suma importância, entretanto, é necessário saber quais são e suas funções.

Com as informações obtidas nas fases anteriores é possível dar início a concepção do projeto, elaborando conceitos que irão seguir o que foi definido. Inicialmente, devem ser levados em consideração os resultados obtidos com a QFD, de acordo com a classificação de importância, tem-se a velocidade e a precisão dos movimentos e o peso que o equipamento venha a apresentar de acordo com os componentes que serão definidos.

O equipamento tem como função principal realizar os movimentos nas direções X, Y e Z, que proporcionará uma qualidade no resultado final e desenvolverá usinagens mais elaboradas. Logo, os componentes a serem definidos devem proporcionar a ferramenta de corte movimentos que ocorrem com a utilização de motores que acionam o movimento, que por sua vez devem ser acionados por outro dispositivo, para que assim o movimento aconteça.

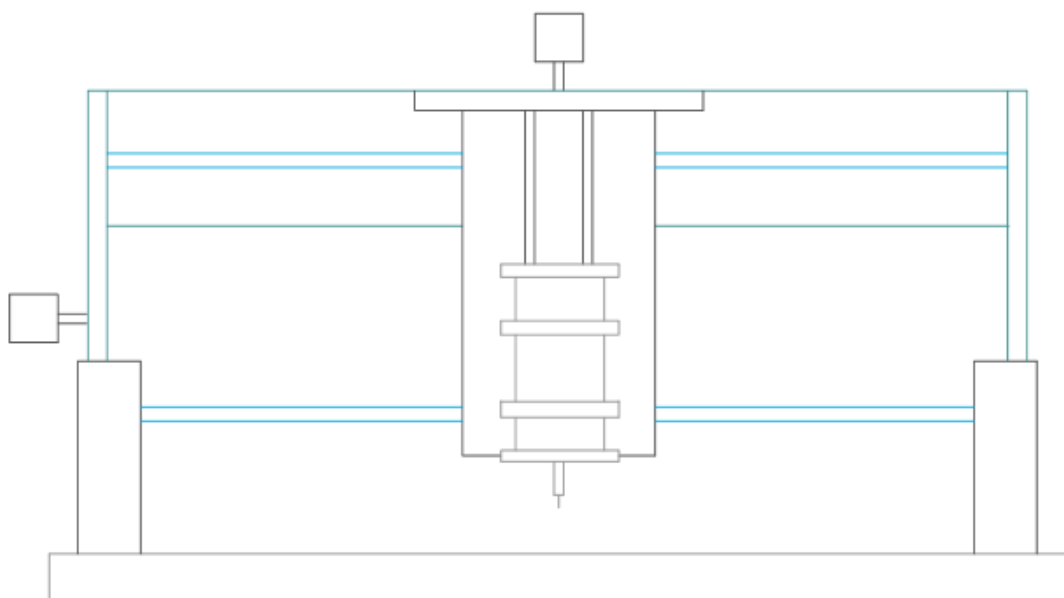
O equipamento começa a exibir uma determinada forma e consequentemente, definições de possíveis componentes que façam com que o equipamento realize o que foi determinado. O desenho inicial do projeto apresenta uma primeira ideia do que se pretende com o projeto, porém esses desenhos sofrem modificações, pois são apenas esboços iniciais para que possa dar continuidade às fases seguintes. As Imagens 11, 12 e 13 apresentam respectivamente a perspectiva isométrica e as vistas lateral e frontal do equipamento.

Imagem 11 - Perspectiva isométrica do primeiro esboço do Router CNC



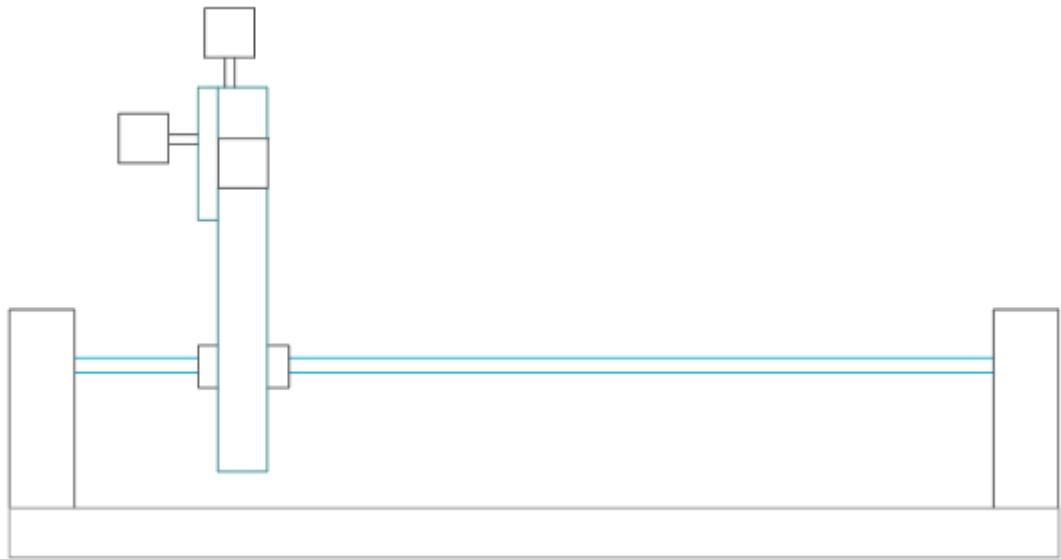
Fonte: Autoria própria (2015).

Imagem 12 - Vista frontal do primeiro esboço do Router CNC



Fonte: Autoria própria (2015).

Imagem 13 - Vista lateral do primeiro esboço do Router CNC



Fonte: Autoria própria (2015).

Como já esclarecido, o conceito determina os princípios da solução, logo os componentes do equipamento devem ser conceituados para que seja possível determinar o seu funcionamento e atender aos requisitos do projeto, pois cada componente depende de outro para executar sua função. Com isso, facilitar as fases de abstração e síntese, que determinam o que o produto deverá fazer e como satisfazer as funções pré-estabelecidas no planejamento. Na Imagem 10 são enumerados componentes importantes do equipamento, para que o desempenho seja eficiente, dos quais são: fusos de esferas (1), motor spindle (2) e motor de passo (3), onde os mesmos são ilustrados nas Imagens 14, 15 e 16.

Imagem 14 - Fuso de esfera



Fonte: (Blog da Mecânica).

Imagem 15 - Spindle



Fonte: (TORMACH).

Imagem 16 - Motor de passo



Fonte: (TECNOFLEXO).

Para o início do desenvolvimento do equipamento é necessário dimensionar os componentes definidos na fase de projeto conceitual, para que desenvolva sua função eficientemente. No entanto, é preciso um conhecimento mais específico para estabelecer as características presentes nesses componentes e consequentemente, alcançar os objetivos.

De forma simplificada, no projeto preliminar é realizado a estruturação do equipamento, buscando compreender o funcionamento dos componentes de maneira detalhada. Porém, é preciso uma grande quantidade de informações em torno dos componentes, sistemas e subsistemas, que são calculados para melhor preencher os requisitos de funcionamento, do qual não serão abordados neste trabalho. A partir dos esboços iniciais, serão definidos componentes que melhor exerçam as funções pré-estabelecidas. Portanto, tem-se:

- Spindle

Caracteriza-se por fornecer o movimento de rotação necessário à ferramenta de corte, bem como a potência necessária para a operação. Para determinar aquele que melhor se aplica ao projeto, parâmetros devem ser determinados. Um deles seria a rotação da ferramenta de corte, expressa pela Equação 1:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} \quad (1)$$

Onde:

n = Rotação da ferramenta (RPM)

V_c = Velocidade de corte (m/s)

d = Diâmetro da ferramenta (mm)

O Quadro 2 apresenta as velocidades de corte recomendadas para cada tipo de madeira que se pretende usinar, com isso, estipula-se um valor para a velocidade de corte com base nos valores apresentados na tabela, para que possa ser estimada a rotação da ferramenta, a força de corte e a potência do spindle.

Quadro 2 - Recomendações de velocidades de corte para diferentes tipos de madeira

Material	Velocidade de Corte (V_c m/min)
Madeira de coníferas	70 a 100
Madeira de folhosas (macias a médias)	50 a 80
Madeira de folhosas muito duras	30 a 60
Aglomerado e compensado	40 a 70
Aglomerado denso ($d > 720\text{Kg/m}^3$)	35 a 50
Madeira comprimida ($900 < d < 1400\text{Kg/m}^3$)	30 a 60

Fonte: (SILVA, 2013).

Logo, utilizando uma velocidade de corte de 60 m/min e uma ferramenta com diâmetro 6 mm, chega-se a um valor da rotação da ferramenta de:

$$n = \frac{60 \cdot 1000}{\pi \cdot 6} = 3.183,10\text{RPM} \quad (2)$$

O diâmetro da ferramenta pode variar de 0,5 - 10 mm, que se determina de acordo com a necessidade da usinagem, podendo ser utilizado uma ferramenta de corte com diâmetro

maior ou menor, onde n é inversamente proporcional a d , logo, quanto maior o diâmetro da ferramenta, menor a rotação.

De acordo com Néri (2003), a força de corte principal pode ser expressa pela relação:

$$F_C = K_S \cdot A = K_S \cdot b \cdot h \quad (3)$$

Onde:

K_S = Pressão específica de corte (N/mm²);

A = Área da seção transversal do cavaco ($b \times h$); em que b = largura de corte ou comprimento da aresta de corte e h = espessura de corte.

Néri (2003) relaciona a pressão específica de corte (K_S) e a espessura de corte (h) através de gráficos, onde K_S varia em função de h . Com isso, determina-se que $K_S = 8$ N/mm² e que o cavaco deve apresentar uma área de 25mm², encontra-se que a força de corte é de:

$$F_C = 8 \frac{N}{mm^2} \cdot 25mm^2 = 200N \quad (4)$$

Portanto, com os valores da velocidade e da força de corte, encontra-se a potência, através da Equação 5:

$$P_C = \frac{V_C \cdot F_C}{60.000} \quad (5)$$

Substituindo os valores da velocidade e da força, obtém-se:

$$P_C = \frac{60 \cdot 200}{60.000} = 0,2kW \quad (6)$$

Com essa potência de corte determina-se a potência do motor, relacionando-a ao rendimento do motor, logo:

$$P_m = \frac{P_C}{\eta} \quad (7)$$

Onde η é o rendimento do motor, que de acordo com DINIZ (2013) está em um intervalo de 60 a 80%, com isso, substituindo os valores na EQUAÇÃO 7 e considerando um $\eta=70\%$, chega-se a potência do motor com um valor igual a $P_m = 0,29$ kW. A partir disso seleciona-se um spindle que apresente valores satisfatórios para a potência do motor e a rotação da ferramenta.

Quadro 3 - SPINDLES ELÉTRICOS COM TROCA MANUAL DE FERRAMENTAS
SÉRIE TL – Refrigeração Líquida

Modelo	Potência (kW – HP)	Rotação (RPM)	Peso (kg)
TLO. 1Z2M.01	0,55 – 0,7	12.000	2,5

Fonte: Tecmafi Indústrias e Comércio Ltda.

- Fusos de esferas

É um sistema de acionamento de alta eficiência, que transforma movimento de rotação em movimento linear por meio de transmissão por esferas. Logo, para determinar o fuso que melhor se aplica ao equipamento deve ser determinado o peso dos componentes que exerce uma força sobre os fusos e consequentemente, encontrar o diâmetro.

Para o deslocamento realizado na horizontal, a força exercida é de 141,9 N. No entanto, foram definidos três fusos para a realização do movimento, dos quais, 2 são fusos retificados e um roscado. Os fusos retificados servem como suporte para a estrutura, logo a força exercida será dividida por dois. Já o fuso roscado, realizará o movimento, sendo este submetido à força total. Utilizando um fator de segurança de 1,5, chega-se aos diâmetros de 8,4 mm para o fuso retificado e 11,63 mm para o roscado.

Três fusos serão utilizados para realizar o movimento frontal e posterior, com a mesma configuração do deslocamento realizado na horizontal, porém a força exercida sobre esses fusos é superior devido ao movimento que realizam e a estrutura que é deslocada. Com isso, são submetidos a uma força de 345 N, logo, utilizando o mesmo fator de segurança os diâmetros encontrados são de 9,84 mm para o fuso retificado e 12,18 mm para o roscado. O Quadro 4, apresenta os valores definidos de cada fuso para força e diâmetro.

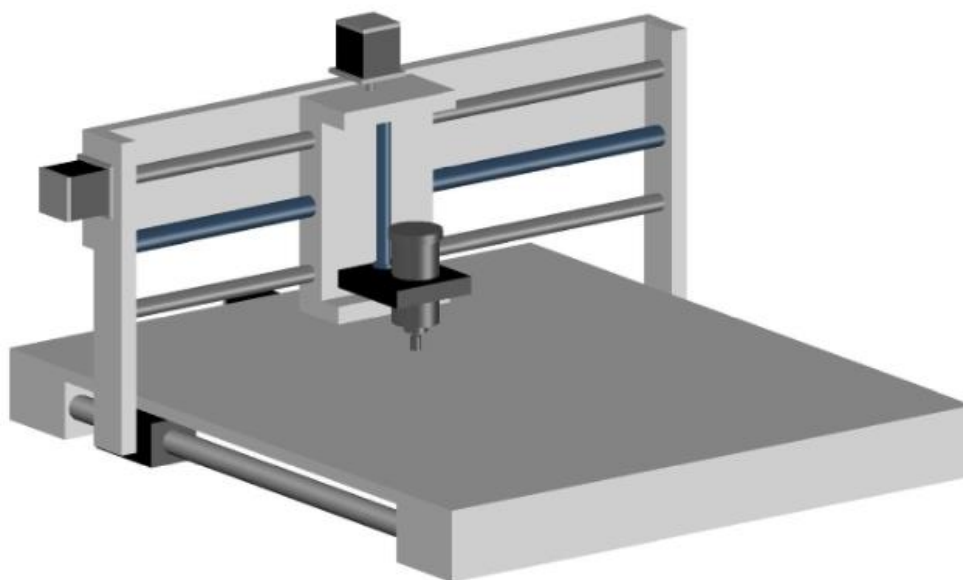
Quadro 4 – Força e diâmetro do fuso retificado e roscado

Movimento Horizontal		
Fuso	Força (N)	Diâmetro (mm)
Fuso retificado	106,41	8,4
Fuso roscado	392,1	11,63
Movimento Frontal/Posterior		
Fuso	Força (N)	Diâmetro (mm)
Fuso retificado	257,22	9,84
Fuso roscado	603,78	12,18

Fonte: Autoria própria (2015).

A partir dos esboços iniciais e dos componentes determinados, desenvolve-se novos e melhorados desenhos para o equipamento. Portanto, a partir dos desenhos iniciais, foram realizadas modificações até o resultado final, como mostrado na Imagem 17.

Imagem 17 - Layout final do equipamento



Fonte: Autoria própria (2015).

6.4. PROJETO DETALHADO

A partir das definições estabelecidas no projeto preliminar, foram sendo realizadas modificações para se conseguir um melhor desempenho do equipamento, assim como atender as necessidades do cliente. No qual, foram redefinidos os componentes dimensionados no projeto preliminar, do mesmo modo novos componentes foram dimensionados. Definiu-se uma maior área útil de usinagem o que permite placas com dimensões maiores e melhores condições de trabalho.

6.4.1. Componentes

6.4.1.1. Spindle

A madeira possui propriedades que permitem elevadas velocidades de corte, porém a mesma varia de acordo com o diâmetro da fresa, o tipo de madeira, a profundidade do passo, a potência do Spindle que será utilizado, entre outros parâmetros de usinagem que devem ser definidos de acordo com a aplicação.

O catálogo da FREZITE apresenta valores de velocidades de corte que podem ser aplicados a determinados tipos de madeiras, entre elas madeiras macias, duras e aglomerados, utilizando ferramentas de aço rápido e aço duro, como mostra o Quadro 5.

Quadro 5 – Velocidades recomendadas para diferentes tipos de materiais.

Material	HS Vc (m/s)	HW/DP Vc (m/s)
Madeiras macias	50-80	60-90
Madeiras duras	40-70	50-90
Aglomerados		60-90
Contraplacados		60-90
Painéis de fibra dura		40-70
Painéis revestidos com plástico		40-70
Termoplásticos		40-60
Alumínio		30-50

Fonte: FREZITE.

Considerando uma velocidade média de 75 m/s e uma fresa com um diâmetro de 16mm, é possível definir uma rotação média, para que seja possível definir o Spindle que melhor se aplica ao projeto.

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{75 \cdot 60 \cdot 1000}{\pi \cdot 16} = 89570,06 \text{RPM} \quad (8)$$

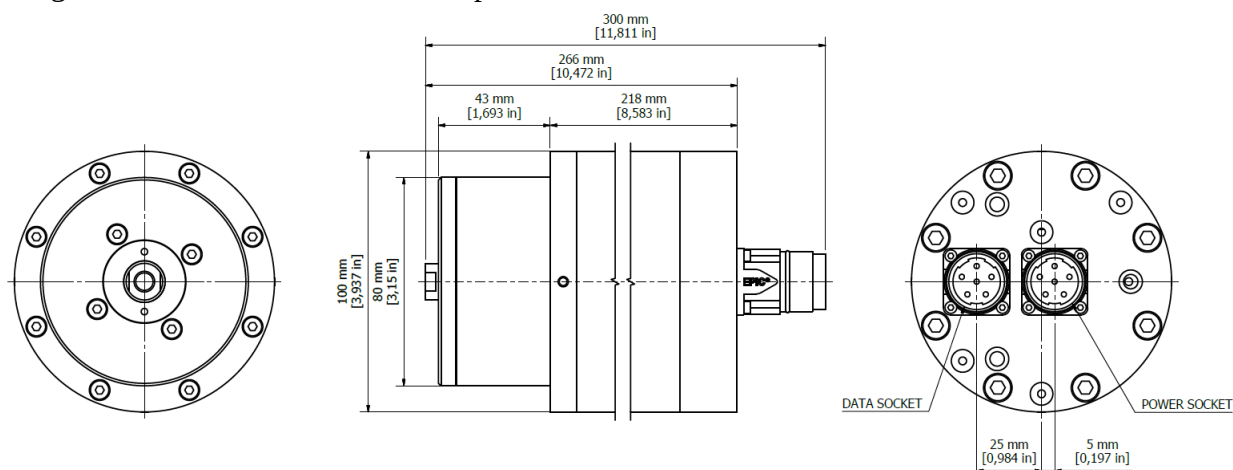
Para a especificação do motor Spindle que melhor se aplica ao equipamento, utilizando a rotação encontrada na definição da fresa, estabelece um valor de aproximadamente 90000 RPM, o que permite elevados valores de velocidade e usinagens mais rápidas. Com isso, encontra-se o Spindle da marca KURODA JENATEC, o qual os dados técnicos são apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 – Dados técnicos da Spindle HFGS 856 KURODA JENA TEC

CÓDIGO: HFGS 856		
DIMENSÕES	Ø100 x 300 mm	Ø3,9 x 11,8 in
VELOCIDADE MÁXIMA	90000 RPM	
POTÊNCIA	1,7 kW	2.3 HP
ROTAÇÃO	ANTI HORÁRIO	
VOLTAGEM	350	
FREQUÊNCIA	1500 Hz	
LUBRIFICAÇÃO	ÓLEO/AR	
FERRAMENTA DE INTERFACE	QUILL	
RESFRIAMENTO	ÁGUA	
ORIENTAÇÃO	HORIZONTAL	

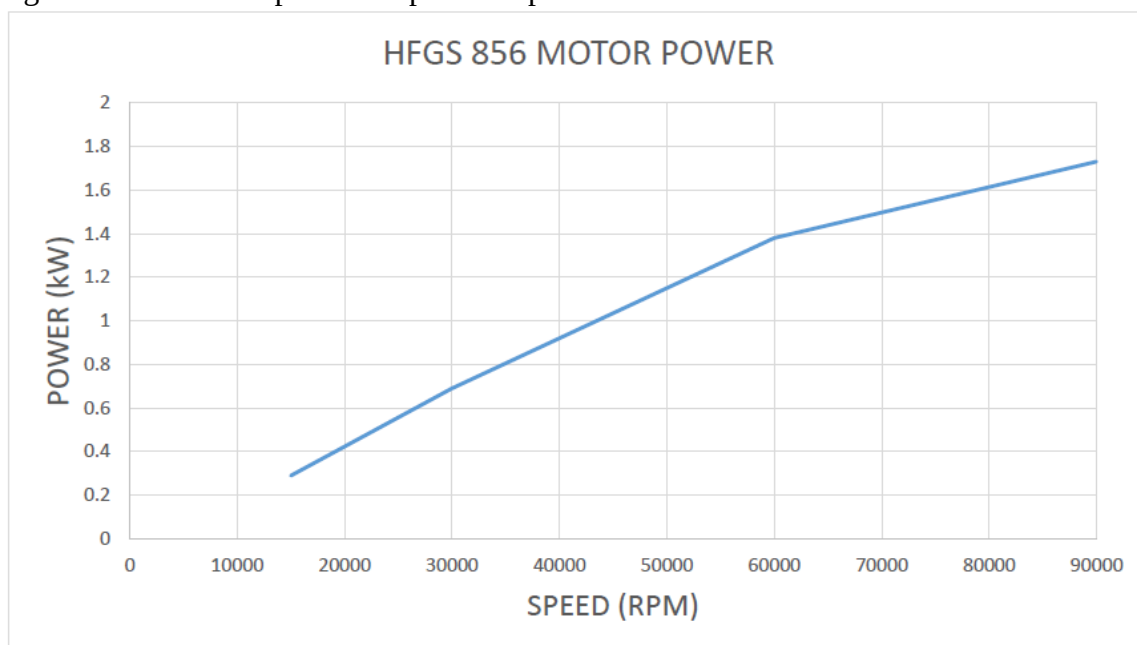
Fonte: Catálogo KURODA JENA TEC.

Imagem 18 – Dimensões do Motor Spindle KURODA JENA TEC



Fonte: Catálogo KURODA JENA TEC.

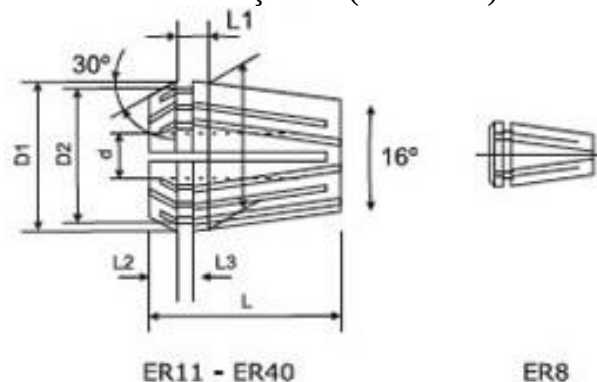
Imagem 19 – Curva de potência típica do Spindle KURODA JENA TEC



Fonte: Catálogo KURODA JENA TEC.

Para a fixação da fresa será utilizado o sistema de pinças padrão ER muito utilizado em spindles, feito de aço flexível especial sob excelente tratamento térmico e preciso processo de retificação, aumentando sua precisão aumentando sua habilidade de fixação e com grande vida útil. Estas pinças podem fixar um tamanho padrão específico e também o tamanho maior seguinte.

Imagem 20 - Dimensões do sistema de Pinças ER (DIN 6499)



Fonte: Ingatools, 2018.

Quadro 7 – Dimensões do sistema de Pinças ER (DIN 6499)

Modelo	d H7	D	D1	D2	L	L1	L2	L3
ER-8	≥ 1-5	8	8,45	6,5	13,5	2,98	1,5	1,2
ER-11	≥ 1-7	11	11,5	9,5	18	3,8	2,5	2
ER-16	≥ 1-2,5	16	17	13,8	27,5	6,26	4	2,7
	> 2,5-10	16	17	13,8	27,5	6,26	4	2,7
ER-20	≥ 1-2,5	20	21	17,4	31,5	6,36	4,8	2,8
	> 2,5-13	20	21	17,4	31,5	6,66	4,8	2,8
ER-25	≥ 1-2,5	25	26	22	34	6,66	5	3,1
	> 2,5-16	25	26	22	34	6,66	5	3,1
ER-32	≥ 2-20	32	33	29,2	40	7,66	5,5	3,6
	> 2-20	32	33	29,2	40	7,66	5,5	3,6
ER-40	≥ 3-26	41	41	36,2	46	7,66	7	4,1

Fonte: Ingatools, 2018.

A ferramenta de corte deve ser definida de acordo com a necessidade do trabalho a ser realizado, que dependem das propriedades da madeira que será utilizada e consequentemente, determinam-se os parâmetros de usinagem, velocidade de corte, profundidade do corte, velocidade de avanço, assim como as dimensões da fresa.

Faz-se necessário a definição dos parâmetros de usinagem adequadamente, para que não seja utilizados parâmetros super ou subdimensionados prejudicando o desempenho e a qualidade da usinagem.

6.4.1.2. Fuso de esfera

O fuso de esfera segue o conceito de rosca e porca para fazer o deslocamento, oferece maior precisão, podendo executar trabalhos de maiores tolerâncias. Para serem bem utilizados os fusos devem ser bem lubrificados, exigindo maiores cuidados e mais manutenção quando mal utilizados.

O tipo de rosca mais adequado a ser aplicado é a Acme padrão Americano (trapezoidal), pois transmite movimento suave e uniforme, sendo este muito comum a essa aplicação. Artigos Técnicos Brasil, apresenta um quadro que relaciona a carga máxima a ser deslocada com a velocidade máxima de rotação. Como cada fuso está submetido a cargas diferentes, têm-se três fusos com dimensões distintas.

Quadro 8 – Teórica Base

Velocidade máxima	Calculado sobre a superfície de contato linear de um filete para o número de rotações/min com base em 25m/min	Velocidade de contato	Max carga a ser levantada a uma velocidade máxima ("L" parafuso max 100 vezes Ø)	Pressão média distribuída nos filetes da rosca	Pressão sobre a primeira rosca (1/3 de toda a carga)	Torque necessário para o levantamento (fator de serviço FS 2,5)
RPM	mm (linear) por min.	metros por minuto	Kg	Kg/mm ²	Kg/mm ²	Nm
883	1.766	25	30	0,11	0,36	0,6
757	2.271	25	51	0,15	0,35	1,33
370	1.850	25	181	0,12	0,36	8,73

Fonte: Artigos técnicos Brasil.

Com isso, para a determinação do passo que melhor se aplica ao parafuso de potência, considerando uma velocidade de 1,5 m/ min e uma rotação máxima de acordo com o Quadro 8, substitui-se os valores na Equação 9.

$$p = \frac{v}{N} \quad (9)$$

O Quadro 9, apresenta as principais dimensões de roscas Acme de acordo com Norton (2013), no qual relaciona os valores de diâmetro maior, diâmetro primitivo, diâmetro menor e o passo.

Quadro 9 - Dimensões principais de roscas padrão Acme americano

Diâmetro maior (in)	Roscas por polegada	Passo de rosca (in)	Diâmetro primitivo (in)	Diâmetro menor (in)	Área sob tração (in²)
0,25	16,00	0,06	0,22	0,19	0,03
0,31	14,00	0,07	0,28	0,24	0,05
0,38	12,00	0,08	0,33	0,29	0,08
0,44	12,00	0,08	0,40	0,354	0,11
0,50	10,00	0,10	0,45	0,4	0,14
0,63	8,00	0,13	0,56	0,50	0,22
0,75	6,00	0,17	0,67	0,58	0,31
0,88	6,00	0,17	0,79	0,71	0,44
1,00	5,00	0,20	0,90	0,80	0,57
1,13	5,00	0,20	1,03	0,93	0,75
1,25	5,00	0,20	1,15	1,05	0,95
1,38	4,00	0,25	1,25	1,13	1,11
1,50	4,00	0,25	1,38	1,25	1,35
1,75	4,00	0,25	1,63	1,50	1,92
2,00	4,00	0,25	1,88	1,75	2,58
2,25	3,00	0,33	2,08	1,92	3,14
2,50	3,00	0,33	2,33	2,17	3,98
2,75	3,00	0,33	2,58	2,42	4,91
3,00	2,00	0,50	2,75	2,50	5,41
3,50	2,00	0,50	3,25	3,00	7,67
4,00	2,00	0,50	3,75	3,50	10,32
4,50	2,00	0,50	4,25	4,00	13,36
5,00	2,00	0,50	4,75	4,50	16,80

Fonte: Norton, 2013.

Substituindo os valores na Equação 9, é possível definir as especificações dos fusos de acordo com o Quadro 10.

Quadro 10 – Massa, rotação e passo equivalente a cada tipo de movimento.

MOVIMENTOS	MASSA	ROTAÇÃO	PASSO	DIÂMETRO PRIMITIVO	DIÂMETRO MAIOR
VERTICAL	26,67	883	2,10	10,06	11,13
HORIZONTAL SUPERIOR	43,33	757	2,54	11,43	12,7
HORIZONTAL INFERIOR	166,67	370	4,24	20,12	22,23

Fonte: Autoria própria, 2018.

A força de arraste pode ser definida por:

$$Fa = m \times \mu \quad (10)$$

Sendo μ o coeficiente de atrito igual a 0,15, considerando 80 kgf, 130 kgf e 500 kgf as massas as quais os fusos roscados e retificados serão submetidos. A carga deve ser dividida por três, pois os fusos estão sob a mesma condição.

Ainda de acordo com o catálogo da OBR a carga axial pode ser calculada por:

$$F_{máx} = \frac{C_o}{F_s} \quad (11)$$

Onde,

F – Carga Axial

C_o – Carga Estática

F_s – Fator Estático = 2,25

A carga dinâmica pode ser definida pela Equação 12:

$$Ca = (60 \cdot N \cdot Lh)^{1/3} \times Fa \times Fw \times 10^{-2} \quad (12)$$

Para uma vida útil (Lh) de 20.000 horas, um fator de operação (Fw) equivalente a 1 por apresentar uma vibração e impacto leve. Substituindo os valores, tem-se os resultados obtidos no Quadro 11.

Quadro 11 – Cargas aos quais os fusos estão submetidos

MOVIMENTOS	MASSA	FORÇA DE ARRASTE	CARGA ESTÁTICA	CARGA DINÂMICA
VERTICAL	26,67	30,08	11,85	319,69
HORIZONTAL SUPERIOR	43,33	6,5	19,26	69,07
HORIZONTAL INFERIOR	166,67	25	74,07	265,66

Fonte: Autoria própria, 2018.

Como definido por Galdino (2014), para determinar o torque necessário para rotacionar o parafuso e assim deslocar a carga vertical e horizontalmente, respectivamente calculado pelas Equações 13 e 14:

$$M_T = \left[ma + \frac{(ma + P) \cdot (\mu \pi d_p \sec \alpha + L)}{(\pi d_p - \mu L \sec \alpha)} \right] \cdot \frac{d_p}{2} \quad (13)$$

$$M_T = \left[ma + \frac{m(a + \mu_c g) \cdot (\mu \pi d_p \sec \alpha + L)}{(\pi d_p - \mu L \sec \alpha)} \right] \cdot \frac{d_p}{2} \quad (14)$$

O coeficiente de atrito de rolamento é $\mu_c = 0,02$, o ângulo da rosca $\alpha = 14,5^\circ$, como definido por Norton (2013). Considerando uma aceleração máxima de 5 m/s^2 e substituindo os valores nas equações e considerando um fator de segurança de 1,5 obtém-se os valores apresentados no Quadro 12.

O parafuso é dotado de um colar para apoio devido a esforços axiais, deve ser considerado um torque adicional dado pela Equação 15, não importa o tipo de rosca nem o tipo de movimento do parafuso (NORTON, 2013).

$$T_c = \mu_c P \frac{d_c}{2} \quad (15)$$

O coeficiente de atrito no rolamento é $\mu = 0,02$ e o diâmetro do colar é 32 mm, logo deve ser adicionado o torque do colar ao torque calculado.

A eficiência do parafuso é a relação entre trabalho de saída/trabalho de entrada. O trabalho feito sobre um parafuso de potência é o produto do torque e do deslocamento angular (NORTON, 2013). Onde pode ser expressa função apenas da geometria do parafuso e do coeficiente de atrito:

$$e = \frac{\cos \alpha - \mu \cdot \tan \lambda}{\cos \alpha + \mu \cdot \cot \lambda} \quad (16)$$

O maior problema dos parafusos de potência convencionais é a sua potencial baixa eficiência. Roscas Acme padronizadas têm ângulos de avanço que variam entre 2 e 5°. A eficiência dos parafusos Acme padrão para um coeficiente de atrito de 0,15 varia entre 18 e 36%. Se o atrito de rosca puder ser reduzido, aumentos significativos de eficiência podem ser obtidos, como afirma Norton (2013).

O ângulo de avanço pode ser calculado por:

$$\tan \lambda = \frac{L}{\pi \cdot d_p} \quad (17)$$

Substituindo os valores encontra-se um ângulo de 4,04 e uma eficiência de 31%.

Galdino (2014) afirma que a potência necessária para realizar o trabalho mecânico, ou seja, a potência útil pode ser definida por:

$$P = \frac{M_T \pi \cdot n}{30} \quad (18)$$

A potência de saída (P_s) no eixo do motor deve ser determinada considerando a eficiência (e) da transmissão por parafusos de potência. A Equação 19 representa o cálculo da potência de saída:

$$P_s = \frac{P}{e} \quad (19)$$

Quadro 12 – Torques necessários para realizar os movimentos

MOVIMENTOS	CARGA (KG)	TORQUE (N.m)	TORQUE COLAR (N.m)	TORQUE ÚTIL (FS = 1,5)	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA DE SAÍDA (W)
VERTICAL	26,67	0,99	0,09	1,61	74,28	239,61
HORIZONTAL SUPERIOR	43,33	1,44	0,14	2,37	93,85	302,73
HORIZONTAL INFERIOR	166,67	9,29	0,53	14,74	285,48	920,91

Fonte: Autoria própria, 2018.

Um possível modo de falha por cisalhamento envolve o rasgamento de filetes de rosca tanto da porca quanto do parafuso. Logo se deve supor algum grau de compartilhamento da carga entre os filetes de rosca a fim de calcular as tensões. A área sob cisalhamento de rasgamento A_s para um filete de rosca é a área do cilindro de seu diâmetro menor d_r (NORTON, 2013):

$$A_s = \pi d_r w_i p \quad (20)$$

Onde w_i é o fator que define a porcentagem do passo ocupado pelo metal no diâmetro menor, no qual para rosca Acme é de 0,77. Para o rasgamento da porca no seu diâmetro maior, a área sob cisalhamento para um filete de rosca é:

$$A_s = \pi d w_o p \quad (21)$$

Onde w_o é o fator que define a porcentagem do passo ocupado pelo metal no diâmetro maior, no qual para rosca Acme é de 0,63.

A tensão de cisalhamento para rasgamento de rosca é então calculada a partir de:

$$\tau_s = \frac{F}{A_s} \quad (22)$$

Quando uma porca é apertada em um parafuso, ou quando um torque é transmitido através de uma porca de um parafuso de potência, uma tensão de torção pode ser desenvolvida no parafuso. Em um parafuso de potência, se o colar de empuxo possuir um atrito baixo, todo o torque aplicado à porca criará tensões torcionais no parafuso:

$$\tau = \frac{16T}{\pi d_r^3} \quad (23)$$

O Quadro 13 apresenta os valores das tensões de cisalhamento e torcionais que os fusos serão submetidos.

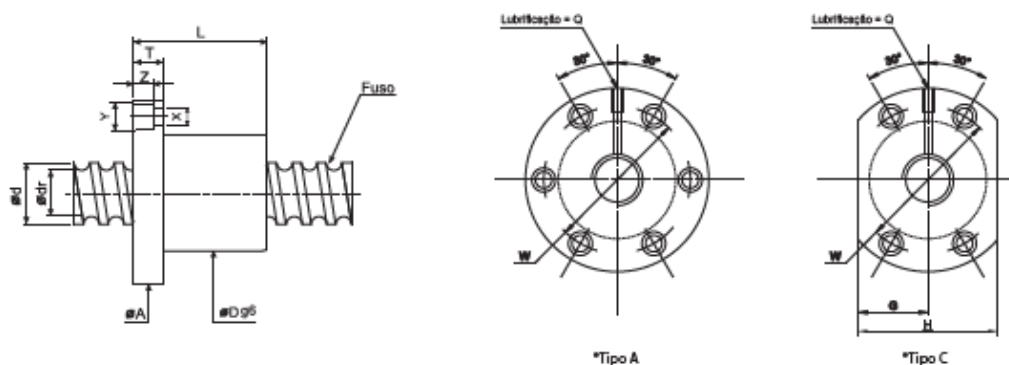
Quadro 13 – Tensões de cisalhamento e torcional

MOVIMENTOS	AREA DE CISCALHAMENTO DR (MM ²)	AREA DE CISCALHAMENTO D (MM ²)	TENSÃO DE CISCALHAMENTO DR (KGF/MM ²)	TENSÃO DE CISCALHAMENTO D (KGF/MM ²)	TENSÃO TORCIONAL (KGF/MM ²)
VERTICAL	45,67	46,26	1,75	1,73	8,04
HORIZONTAL SUPERIOR	62,43	63,85	2,08	2,04	8,08
HORIZONTAL INFERIOR	184,97	186,55	2,70	2,68	9,21

Fonte: Autoria própria, 2018.

Logo, define-se os fusos de esfera da OBR Equipamentos Industriais a serem aplicados no projeto, no qual as informações são apresentadas no Quadro 14. Para o fuso, o material utilizado é o aço carbono Norma SCM450, SCM415 para a castanha e SUJ2 para as esferas. Os três fusos possuem tamanhos diferentes, pois o deslocamento realizado é diferente.

Imagem 21 - Fusos de esfera Modelo RFSI



Fonte: OBR Equipamentos Industriais Ltda. *Carga dinâmica = 1×10^6 revoluções.

Quadro 14 – Fusos de esfera Modelo RFSI

Modelo da Porca	Diam. Fuso	Passo	Diam. Esfera	Voltas efetivas	Capacidade (Kgf)		Dimensões da porca												Fuso	
	D	i			Dinâmica*	Estática	D	L	A	T	W	X	Y	Z	H	G	Q	dr	Modelo	
	9RFSI3205-4.0P	32	5	3175	4	1050	3390	48	53	73,5	12	60	6,6	11	6,5	60	30	M8x1	29,42	PS3205A

Fonte: OBR Equipamentos Industriais Ltda. *Carga dinâmica = 1×10^6 revoluções.

De acordo com o catálogo da OBR, para a lubrificação do fuso deve-se utilizar graxa à base de Lithium com viscosidade 30 – 40 cSt (40°) na grade ISO 32–100. Para aplicações em baixas temperaturas, utilizar graxa com baixa viscosidade. Para aplicações em altas temperaturas, cargas elevadas e baixas velocidades, utilizar graxa com alta viscosidade.

O intervalo de lubrificação deve seguir as seguintes recomendações:

- Graxa: Intervalos de 400 a 750 horas, dependendo do equipamento.
- Lubrificação Centralizada: Toda semana.

– Pulverização de Óleo: Todos os dias antes de o equipamento entrar em operação.
Não colocar graxa em excesso, evitando assim que haja aumento de temperatura.

Para o eixo guia, feito com aço carbono laminado é necessário um eixo forte, resistente e com bom acabamento. Faz-se necessário a utilização de buchas de bronze nos eixos guia, pois o atrito existente causa desgaste excessivo nos mesmos, logo a bucha impede esse desgaste no eixo, onde sua manutenção é facilitada e a troca da bucha menos dispendiosa.

6.4.1.3. Guia Linear

O sistema de guia é utilizado para guiar de forma linear os eixos da Router CNC, onde deslizam para a realização dos movimentos, o guia linear de trilho oferece maior precisão, movimentos suaves e alta capacidade de carga.

Segundo Sanches (2009 apud LICHTBLAU, 1989), os principais requisitos para o projeto de guias lineares são de caráter estático e podem ser resumidos da seguinte forma:

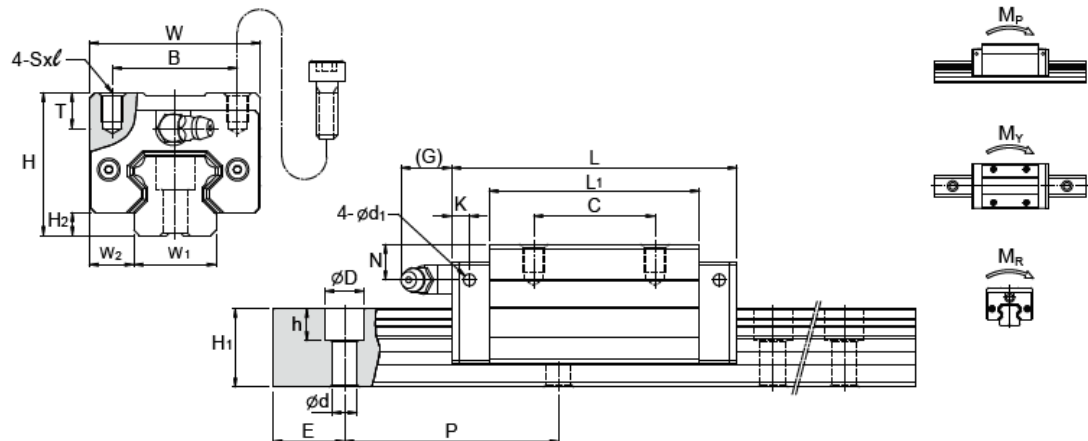
- Elevada precisão dimensional e de forma macrogeométrica
- Elevada rigidez (guias e suportes)
- Baixo coeficiente de atrito

Para o cálculo da carga estática ao qual o guia será submetido pode ser calculado pela Equação 24:

$$C_o \geq \frac{f_s \cdot P_c}{f_c} \quad (24)$$

Onde o fator estático de segurança (f_s) para uma máquina ferramenta com condição normal de carga o valor está entre 1 e 1,5 e o fator contato (f_c) depende do número de carros usados na régua, assim para dois carros, tem-se um fator contato de 0,81. A carga de trabalho (P_c) ao qual os guias serão submetidos é de 500 kgf, logo para um fator de segurança de 1,5 e um fator de carga de 1, tem-se um uma carga estática $\geq 1481,48$ Kgf. Com essa carga estática, define-se o guia linear da OBR, que possui uma carga estática superior a 1500 kgf.

Imagem 22 - Dimensões Série Standard MSA-S / MSA-LS



Fonte: OBR Equipamentos Industriais Ltda.

Quadro 15: Dimensões Série Standard MSA-S / MSA-LS

Modelo Nº	Dimensões Externas					Dimensões do Carro									
	H	W	L	W2	H2	B	C	S x l	L1	T	N	G	K	d1	Engraxadeira
	30	44	88,8	12	5	32	50	M5 x 6	67,2	8	5	12	5,8	3,3	G-M6
	Dimensões da Guia					Capacidade de Carga			Momento Estático			Peso			
MSA 20 S (R)	W1	H1	P	D x h x d		Dinâmica C (kgf)		Estática C0 (kgf)		MP (kgf.m)	MY (kgf.m)	MR (kgf.m)	Carro kg	Guia kg/m	
	20	18	60	9,5 x 8,5 x 6		2330		3930		39	39	38	0,39	2,4	

Fonte: OBR Equipamentos Industriais Ltda.

A vida útil (L) pode ser calculada pela Equação 25,

$$L = \left[\frac{f_H}{f_W} \times \frac{C}{P_C} \right]^3 \times 50 \text{ km} \quad (25)$$

Para uma dureza de 60HRC o fator dureza (f_H) é equivalente a 1. O fator carga (f_W) para a condição de movimentação sem impacto e vibração e uma velocidade de operação até 15m/min varia entre 1 e 1,2. De acordo com o Quadro 13 a carga dinâmica é $C = 2330 \text{ kgf}$, substituindo os valores na Equação 25, tem-se uma vida útil de 1235,29 km.

Para expressar a vida útil em horas é possível calcular pela Equação 26:

$$L_h = \frac{L \times 10^3}{2 \times l_s \times n \times 60} \quad (26)$$

Considerando o curso o guia equivalente a 1,8 m, tem-se 1.143,79 horas.

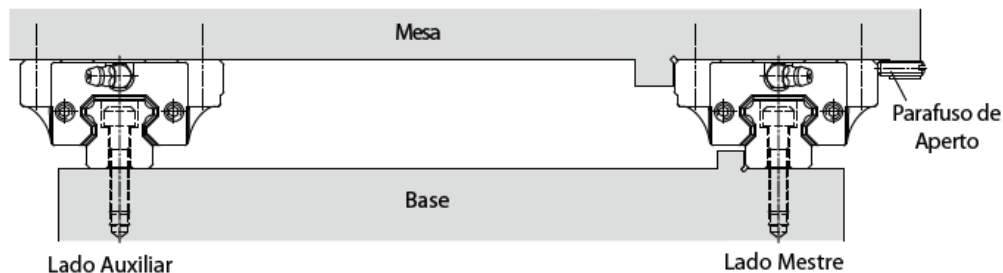
Os materiais de fabricação utilizados para a régua e carros são:

- Réguas: DIN 58CrMoV4
- Carros: DIN 16MnCr5

Uma periódica lubrificação garantem movimentos suaves e silenciosos.

A régua e o carro podem ser deslocados quando a máquina recebe vibração ou impacto, com isso, a precisão da guia e a vida útil podem ser degradadas. Recomenda-se o método de fixação apresentado na Imagem 23 para evitar que tal situação aconteça.

Imagem 23 – Método de fixação da guia na máquina



Fonte: OBR Equipamentos Industrias Ltda.

6.4.1.4. Servomotores

Os servomotores realizam trabalhos de precisão e com alta velocidade, pois além de potentes, os drivers oferecem diversos recursos que garantem através de parâmetros, o perfeito funcionamento e sincronia dos motores de tração, além de garantir também, a segurança dos motores através de alarmes de erros em caso de anomalias, como por exemplo, excesso de esforço, variação de energia, excesso de rotação, entre outros.

Servos de alto desempenho permitem o posicionamento rápido e preciso, e dão suporte a trabalhos de manuseio de alta velocidade.

A partir dos valores obtidos de rotação e torque na definição os fusos, é possível determinar os servomotores que melhor se aplicam ao equipamento. De acordo com o catálogo do da WEG, que apresenta servomotores com rotação de 2000, 3000 e 6000 RPM e possuem as seguintes características e especificações técnicas:

- Características técnicas
 - ✓ Força contra-eletromotriz senoidal
 - ✓ Rotação suave e uniforme em todas as velocidades
 - ✓ Baixo nível de ruído e vibração
 - ✓ Ampla faixa de rotação com torque constante
 - ✓ Baixa manutenção (servomotores sem escovas)
 - ✓ Elevada capacidade de sobrecarga
 - ✓ Baixa inercia
 - ✓ Resposta dinâmica rápida

- Especificações Técnicas
 - ✓ Grau de proteção IP65 – Servomotor com freio possui grau de proteção IP54.
 - ✓ Isolação classe F
 - ✓ Realimentação por resolver
 - ✓ Formas construtivas B5 (sem pés, fixado pela flange), V1 (sem pés, fixado pela flange para baixo) e V3 (sem pés, fixado pela flange para cima)
 - ✓ Protetor térmico (PTC) / 155o interno
 - ✓ Ponta de eixo com chaveta NBR 6375
 - ✓ Material eixo: ACO SAE 1045
 - ✓ Imãs de terras raras (neodímio-ferro-boro)
 - ✓ Rolamento com lubrificação permanente (20.000 horas)
 - ✓ Retentor para vedação do eixo
 - ✓ Temperatura máxima de operação em regime permanente: $\Delta T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - ✓ Refrigeração natural IC0041

Para uma rotação de 2000 RPM e considerando o torque calculado, definem-se os servomotores apresentados no Quadro 16.

Quadro 16 - Servomotor SWA Modelo Standard sem Freio Eletromagnético - 200-230 V

Rotação	Modelo servomotor	Torque rotor bloqueado Mo (N.m)	Corrente nominal Io (arms)	Potência nominal (kW)	Massa (kg)	Inércia x 10 ⁻³ (kg.m ²)	Comprimento "L" (mm)	Servoconversor recomendado SCA06C08P0	Cabos de conexão entre SCA06 e servomotor SWA		
									Cabo de potência	Cabo resolver	Cabo freio
2000 RPM	SWA 71-2-13-20-F	13	11,8	2,3	19,1	2,84	400,8	T2	CP-...m-4x2,5-B	CR-...m	CF-...m
2000 RPM	SWA 71-2-15-20-F	15	13	2,5	21,1	3,55	430,8	T2	CP-...m-4x2,5-B	CR-...m	CF-...m

Fonte: WEG Automação, 2016.

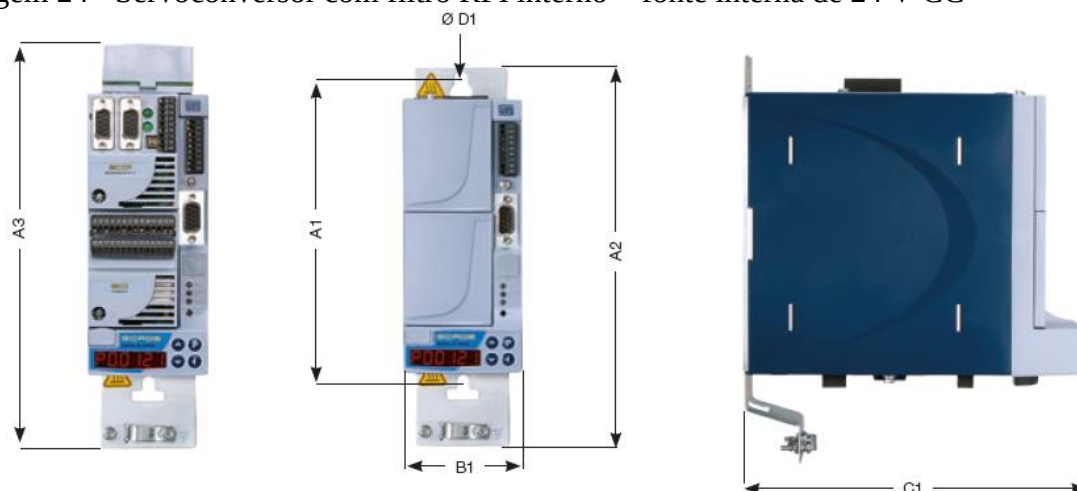
O SCA06 é um servoconversor de alta performance que permite o controle de velocidade, torque e posição de servomotores de corrente alternada senoidal trifásicos. Possui 3 slots para conexão de acessórios. Possui interface de operação (IHM) com display de LED de seis dígitos para comando, ajuste e visualização de todos os parâmetros, conta com função SoftPLC, blocos de posicionamento, software de programação e redes de comunicação inclusas na versão padrão (WEG AUTOMAÇÃO, 2018). Possui as seguintes características e funções especiais:

- Características:
 - ✓ Tensão de alimentação 220-230 V ou 380-480 V
 - ✓ Alto desempenho
 - ✓ Precisão de controle do movimento
 - ✓ Operação em malha fechada
 - ✓ Realimentação de posição por resolver
 - ✓ Alimentação de controle e potência independentes
 - ✓ Flexibilidade e integração ao acionamento
 - ✓ Facilidade de utilização: posicionamentos via parâmetros
 - ✓ IHM com display de LED de seis dígitos
 - ✓ Porta USB
 - ✓ CANopen / DeviceNet na versão padrão
 - ✓ Softwares de programação gratuitos: WLP, WPS e SuperDrive G2
 - ✓ Filtro RFI (opcional)
 - ✓ Produto compatível com a versão anterior
- Funções Especiais
 - ✓ Controlador Logico Programável - CLP, incorporado ao produto padrão (linguagem de programação ladder -SoftPLC) 64 kbytes
 - ✓ Blocos de posicionamento, incorporado ao produto padrão
 - ✓ Modulo Safe Torque Off (STO) de parada de segurança. Categoria 4, PL e / SIL CL 3 conforme as normas EN ISO 13849-1, IEC 61800-5-2, IEC 62061 e IEC 61508
 - ✓ Função osciloscópio digital incorporada no produto padrão

O SoftPLC é um recurso de software incorporado ao servoconversor, que permite ao usuário a implementação e depuração de projetos de lógica equivalentes a um CLP (Controlador Lógico Programável) de pequeno porte, customizando e integrando o SCA06 a aplicação.

A partir das características técnicas é possível definir um servoconversor que melhor se aplica para acionamento dos servomotores, apresentado as dimensões na Imagem 24 e o Quadro 17, assim como suas especificações Quadro 18.

Imagem 24 - Servoconversor com filtro RFI interno + fonte interna de 24 V CC



Fonte: WEG Automação, 2016.

Quadro 17 – Dimensões do servoconversor com filtro RFI interno + fonte interna de 24 V CC

Tamanho	A1	A2	A3	B1	C1	D1	Torque1)	Peso
	mm	mm	mm	mm	mm	M	N.m	Kg
C	242	289	296	75	207	M5	5	1,9

Fonte: WEG Automação, 2016.

Quadro 18 – Servoconversor com filtro RFI interno + fonte interna de 24 V CC

Referência	Tensão de alimentação (V)		Tamanho	Corrente Nominal (A rms)	Filtro RFI	Fonte de 24 V CC	Manual
SCA06C08P0T2C3W2P6	220-240	Trifásica	C	8	SIM	SIM	SIM

Fonte: WEG Automação, 2016.

6.4.1.5. Acoplamento

As principais funções dos acoplamentos são compensar os desalinhamentos, não forçar os rolamentos dos motores ou mancais a eles ligados, evitar a transmissão de vibrações ou cargas a equipamentos delicados.

O melhor acoplamento dependerá do tipo de aplicação e, na maioria das vezes, deve-se escolher certas características em detrimento das outras. As intersecções entre os modelos de mercado serão muitas, sendo necessário escolher aquele que melhor se adapte a sua aplicação, a ponto de que o tópico decisivo poderá ser um detalhe como o de facilidade de montagem ou baixo custo de manutenção (KASSOUF, 2004).

Ainda de acordo com Kassouf (2004), existem algumas características que podem ser necessárias em várias aplicações, que necessitem de um acoplamento.

- Compensação para desalinhamento axial, radial e angular;
- Folga zero;
- Baixa inércia;
- Alta rigidez;
- Vida alta sem materiais de desgaste;
- Não transmissão de choques e vibrações;
- Absorver dilatações dos eixos do motor e do sistema;
- Confinar um motor e isolá-lo (de um ambiente a prova de explosão, contaminado, etc.);
- Adequação a espaços pequenos e fácil montagem;
- Isolamento elétrico do equipamento;
- Propriedade de funcionar como um fusível mecânico nos torques elevados;
- Suportar altas temperaturas ou ambientes agressivos.

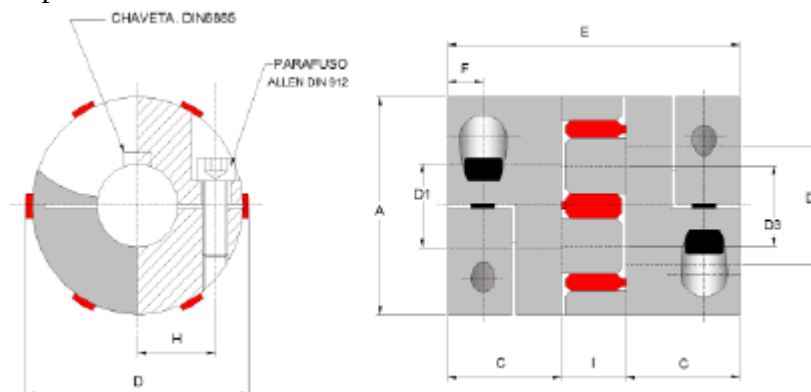
Os acoplamentos elásticos suavizam a transmissão do movimento entre eixos em caso de sistemas que possam ter movimentos bruscos facilitando o alinhamento entre eles. O OLDHAM é um acoplamento elástico composto por três partes, onde dois cubos de alumínio atuam mutuamente aos eixos de entrada e saída de torque. Os dois cubos apresentam canais defasados em 90 graus, no qual a parte do meio é feita em acetato, que se acomoda e desliza para absorver o desalinhamento sem causar folgas.

O alinhamento do motor deve ser cuidadosamente executado, para evitar que cargas ou vibrações excessivas provoquem danos no eixo e rolamentos.

Na ponta do eixo existe um furo roscado que pode ser usado para facilitar a colocação de polia ou luva de acoplamento. O acoplamento ou polia pode ser colocado a quente ou por prensagem. Jamais se deve montar o acoplamento ou polia mediante batidas/impactos, pois isto danificaria os rolamentos, de acordo com o manual de instalação de servo motores CA.

A Imagem 25 e o Quadro 19 apresenta o acoplamento da série ADS-K da Kalatec Automação que melhor se aplica ao projeto de acordo como torque definido anteriormente.

Imagem 25 – Acoplamento série ADS-K



Fonte: KALATEC AUTOMAÇÃO, 2004.

Quadro 19 – Dimensões e especificações técnicas do acoplamento série ADS-K

Tipo ADS-K	A	C	D	D1 - D2	D3	E	F	G	H	I
	-	-	-	Min H7 Max H7	-	(+/-1)	-	DIN 912	-	-
	30	11	34	6 - 16	-	35	5	M 4	10,5	13
ADS-10-K	Torque Nominal (T)	Rigidez à torção	Rigidez lateral do Elastômero	Desalinhamento (mm)		Desalinhamento Angular (graus°)		Momento de Inércia	Peso	
	(Nm)	(Nm/rad)	(N/mm)	Lateral	Axial	-		10 ³ J(gcm ²)	m (g)	
	16	702	856	0,06	1	0,9		0,1	40	

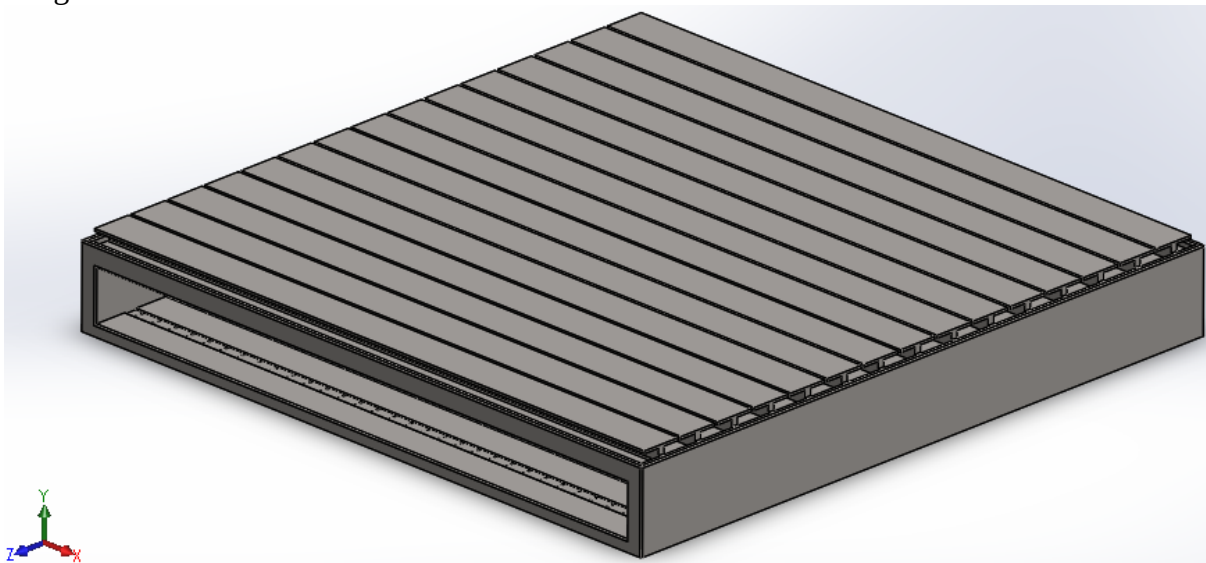
Fonte: KALATEC AUTOMAÇÃO, 2004.

6.4.1.6. Estrutura

A estrutura da máquina foi definida a partir do objetivo para o qual será destinado e com base em modelos já laborados, realizando adaptações e melhorias, avalia-se o material escolhido quanto à rigidez, facilidade de usinagem, soldagem e montagem (LYRA, 2010). Foram realizadas modificações em relações ao layout definido no projeto preliminar, como apresentado na Imagem 16, modificações essas que levarão ao melhor desempenho do equipamento.

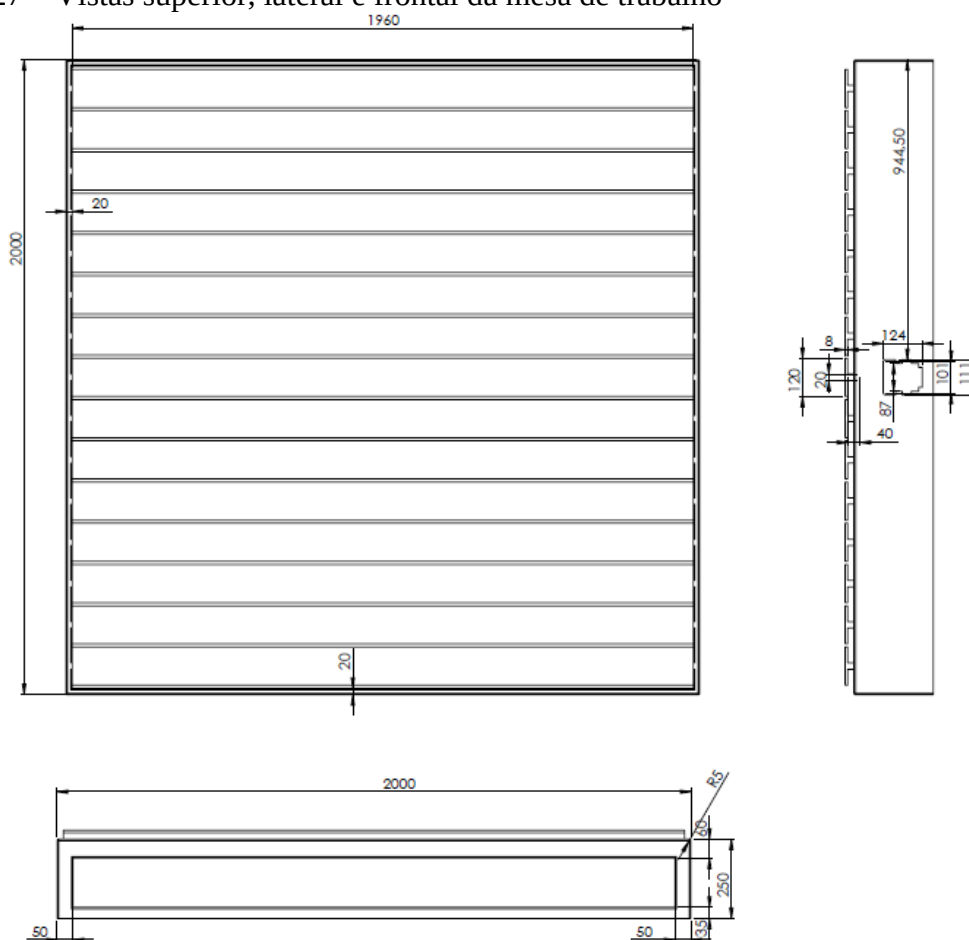
Para a mesa de trabalho, define-se o aço 1020 que possui ótimas propriedades mecânicas, além de boa usinabilidade e soldabilidade. Para a melhor fixação da peça sobre a mesa utiliza-se perfil guia em alumínio, que possui boa resistência mecânica e baixo peso, que permitirão fixar a peça à mesa, sem causar prejuízos a usinagem. A Imagem 26 apresenta a vista isométrica da mesa de trabalho, onde foi utilizado o software SolidWorks, para elaboração dos desenhos CAD.

Imagem 26 – Vista isométrica da mesa de trabalho.



Fonte: Autoria própria.

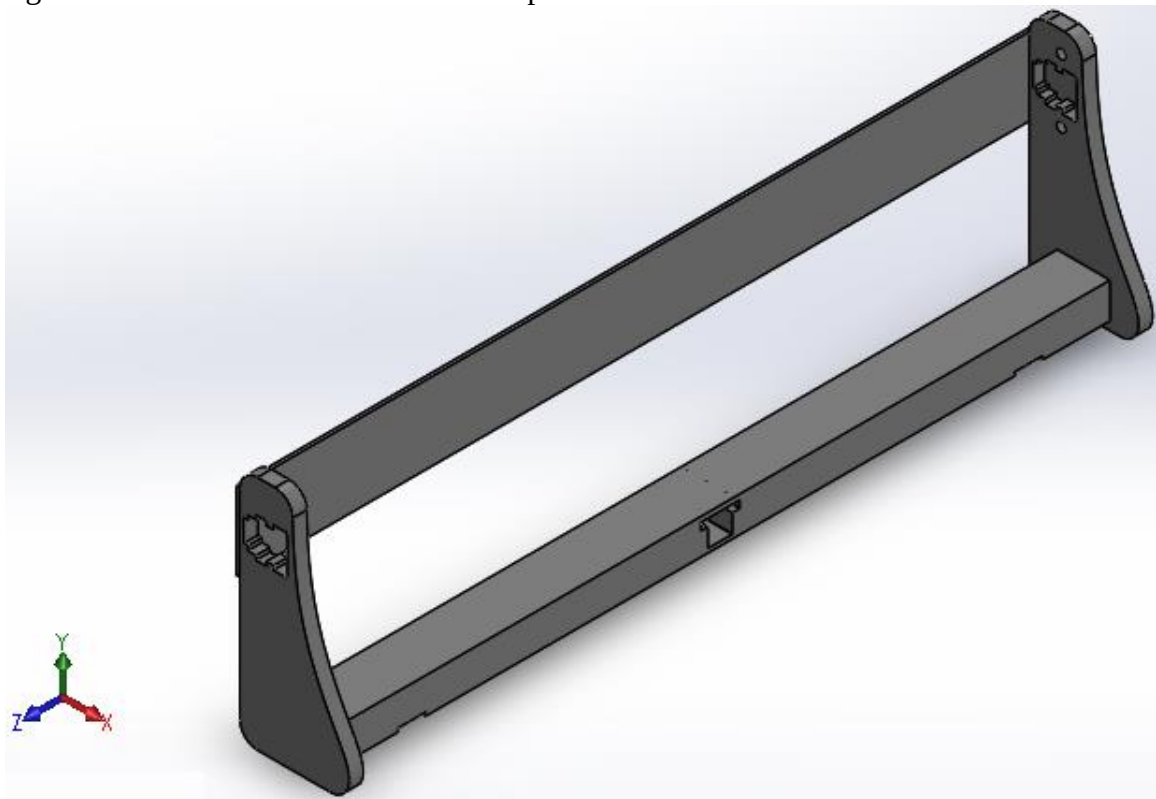
Imagem 27 – Vistas superior, lateral e frontal da mesa de trabalho



Fonte: Autoria própria.

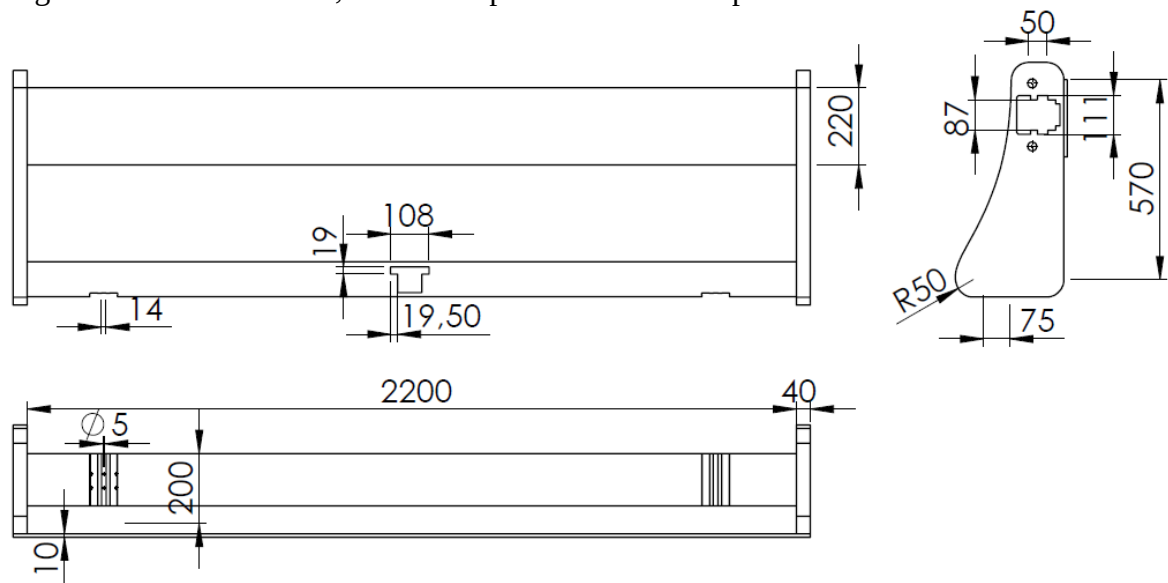
Para a estrutura primária, a qual é utilizada como suporte para realizar o movimento nos eixos X e Z é necessário um material que possua ótimas propriedades mecânicas, devido aos esforços ao qual a mesma será submetida, define-se o aço SAE 1020.

Imagem 28 – Vista isométrica da estrutura primária



Fonte: Autoria própria.

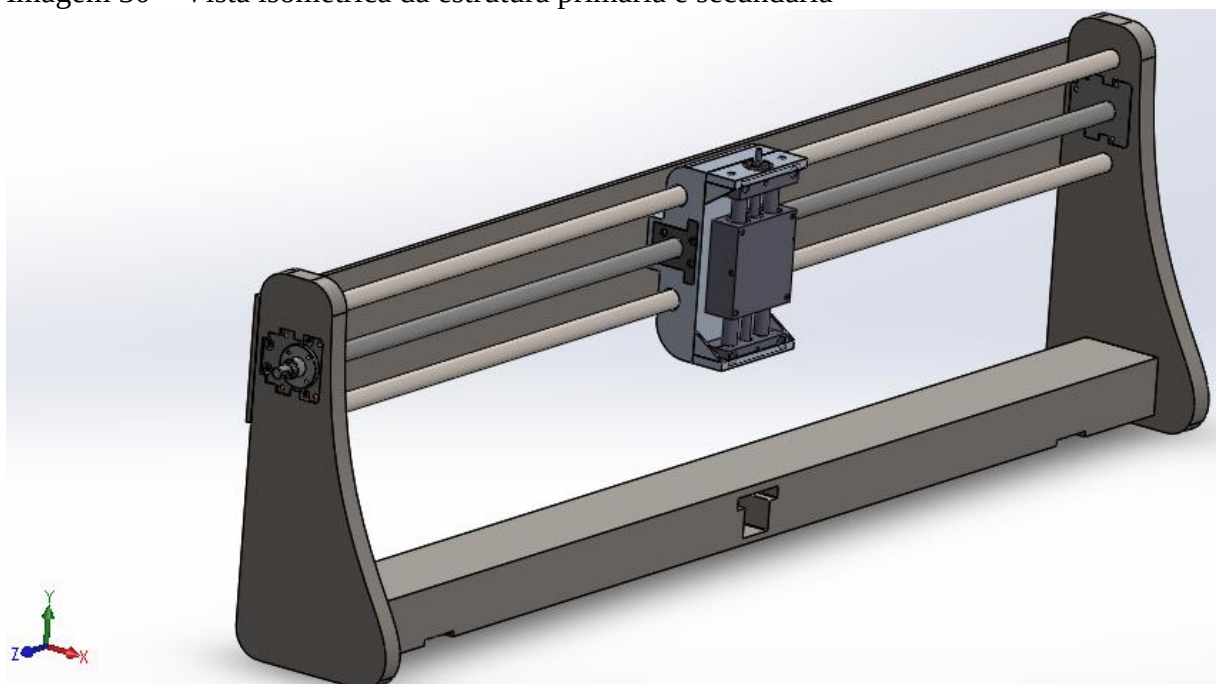
Imagem 29 – Vistas frontal, lateral e superior da estrutura primária.



Fonte: Autoria própria.

Para a estrutura secundária, que realizará o movimento no eixo Y, o material a ser aplicado é o alumínio, por ser um dúctil capaz de absorver choque ou energia e, quando sobrecarregados, exibem, em geral, grande deformação antes de falhar (NETO, 2016).

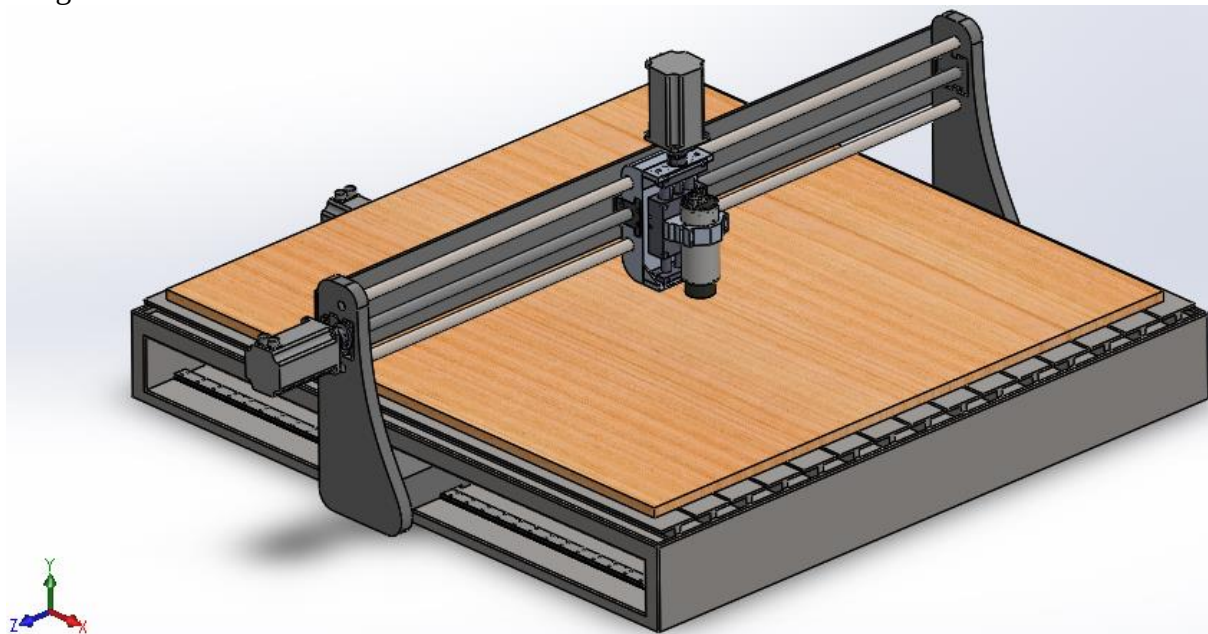
Imagem 30 – Vista isométrica da estrutura primária e secundária



Fonte: Autoria própria.

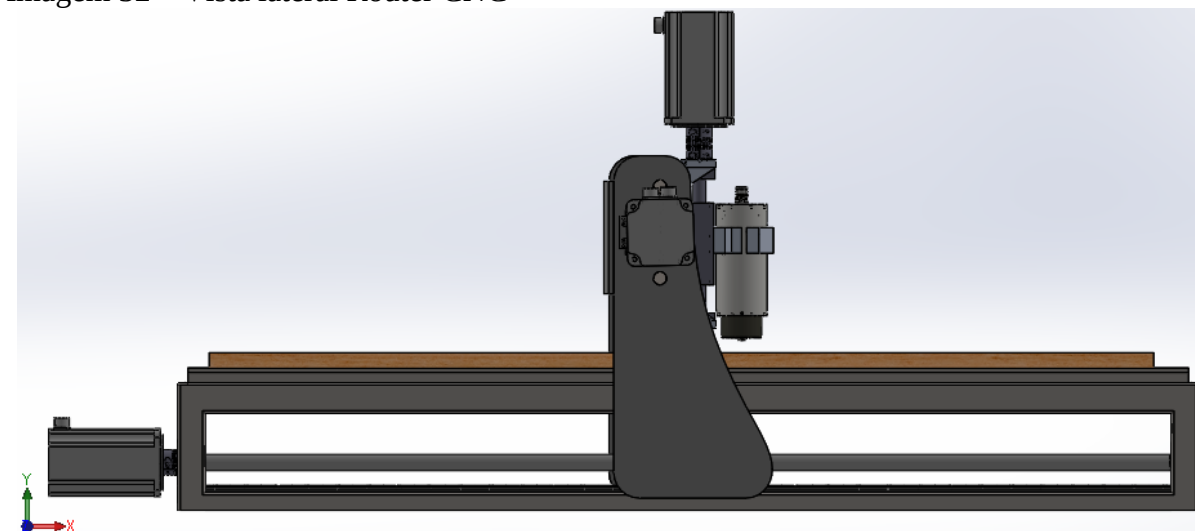
Com todos os componentes definidos e dimensionados, assim como a estrutura física do equipamento, utilizando o software SolidWorks, é possível realizar a montagem da máquina obtendo os layouts finais do equipamento apresentado nas Imagens 31, 32 e 33.

Imagem 31 – Vista isométrica Router CNC



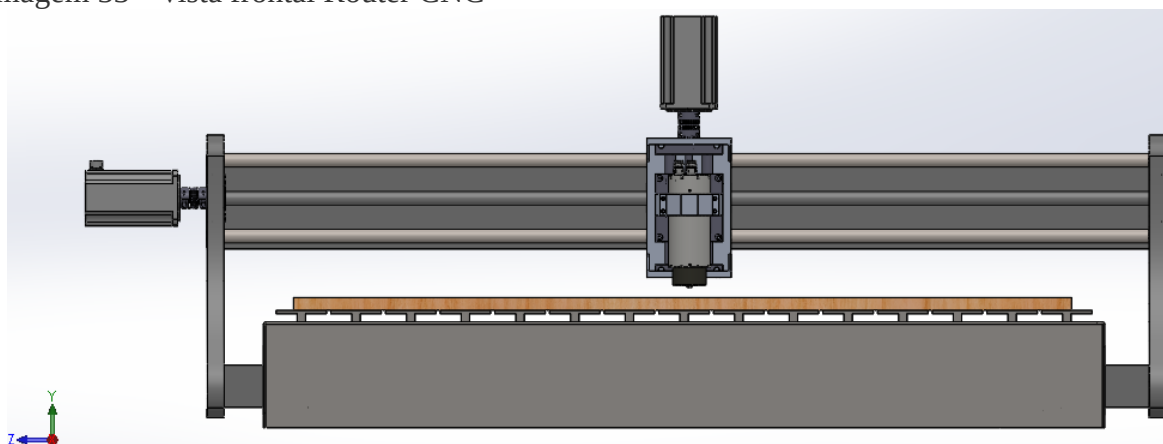
Fonte: Autoria própria.

Imagem 32 – Vista lateral Router CNC



Fonte: Autoria própria.

Imagem 33 – vista frontal Router CNC



Fonte: Autoria própria.

7. CONCLUSÃO

A partir da metodologia de projeto desenvolvida para equipamentos sob encomenda, aplicou-se no desenvolvimento do projeto detalhado uma máquina Router CNC, a partir da necessidade de realizar trabalhos mais elaborados na madeira.

Foram dimensionados e definidos os componentes do equipamento que proporcionarão o melhor desempenho do equipamento, que permitem os movimentos desejados nos três eixos, assim como, o acionamento principal da máquina, utilizando conceitos adquiridos durante o curso e utilizando como referência livros na área de projeto e trabalhos aplicados a equipamentos que utilizam comandos numéricos computadorizados (CNC). Contudo, foram definidos spindle, pinça para fixação da ferramenta de corte, fusos de esfera, guia linear, servomotores, servoconversores e acoplamento.

A ferramenta de corte a ser aplicada dependerá da atividade a ser realizada, logo os parâmetros de corte deve ser definido de acordo com a necessidade, diâmetro da fresa, avanço, velocidade de corte.

Por fim, definiu-se a estrutura do equipamento, o layout final, apresentando suas dimensões e o material que melhor se aplica. Utilizou-se a ferramenta Solidworks que auxilia na elaboração de desenhos CAD.

Faz-se necessário realizar uma simulação e verificação do modelo, onde será possível verificar como o sistema se comportará com a aplicação da carga e assim auxiliar no desenvolvimento do protótipo.

REFERÊNCIAS

- A.T.I. BRASIL, ARTIGOS TÉCNICOS INDUSTRIAS. **Fuso de Rosca Trapezoidal**. Disponível em: <<http://atibrasil.com.br/wp-content/uploads/2016/08/fuso-de-rosca-trapezoidal-004.pdf>>. Acesso em: 27 de Fev 2018.
- BOLGENHAGEN, Nilson Jair. **O Processo de Desenvolvimento de Produtos**: Proposição de um Modelo de Gestão e Organização. 2003. 118 f. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- COUTINHO, L. F. J.; SANTIAGO, M. T. B. **Dispositivo de Fresamento Controlado por CNC**. 2014. 125 f. Projeto final (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2014.
- DINIZ, Anselmo et al. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo: Artliber, 2013. 270 p. p 61.
- EICH, Fábio. **DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DE TRANSMISSÃO PARA UMA ROUTER CNC**. 2014. 46 f. Tese (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Horizontina, Horizontina, 2014.
- FORCELLINI, F. A.; BACK, N. **Projeto de Produtos**. 2002, 160 p. Apostila do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.
- GALDINO, Luciano. **CÁLCULO DA ROTAÇÃO, DO TORQUE E DA POTÊNCIA DE MOTORES ELÉTRICOS PARA TRANSMISSÃO POR PARAFUSOS DE POTÊNCIA**. Mestre em Ciências Exatas e da Terra na área de Física Nuclear pela USP. 2014, 17 P.
- GUIA CNC. **Velocidade de avanço e rpm para MDF**. Disponível em: <<https://www.guiacnc.com.br/ferramentas-para-cnc-140/velocidade-de-avanco-e-rpm-para-mdf/?PHPSESSID=0d70cc06d81de1076601e5f67acd6c47>>. Acesso em: 12 fev. 2018.
- INGATOOLS. **Produtos para fixação – Pinça ER (DIN 6499)**. Disponível em: <http://ingatools.com.br/fixacao/fixacao.php?p=pinca_er_din_6499.php>. Acesso em: 18 fev. 2018.
- JARAGUÁ CNC. **O QUE É ROUTER CNC?** Disponível em: <<http://jaraguacnc.com.br/o-que-e-router-cnc.html>>. Acesso em: 25 jan. 2018.
- KASSOUF, Samir. **Acoplamento elástico sem folga**. Disponível em: <<http://www.kalatec.com.br/acoplamento-elastico-sem-folga/>>. Acesso em: 07 mar. 2018
- KURODA JENA TEC. **LINEAR and ROTARY MOTION Solutions**. Disponível em: <<http://www.jena-tec.co.uk/>>. Acesso em: 12 fev. 2018.
- LICHTBLAU, M. **Uma contribuição ao estudo da dinâmica de posicionadores**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1989.

LYRA, Pablo Vinícius. Desenvolvimento de uma Máquina Fresadora CNC Didática. Graduação em Engenharia de Controle e Automação – UNB. 2010, 90p.

MACHADO, C. S. **Contribuição ao estudo de metodologia e morfologia de projeto mecânico**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas: 1997.

NÉRI, Antônio Carlos. **PARÂMETROS DE CORTE NA USINAGEM DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO**. 2003. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

NETO, Alberto Gomes. **FRESADORA CNC COM PLATAFORMA LIVRE DE BAIXO CUSTO PARA FINS DIDÁTICOS**. 2016. 64 f. Tese (Tecnólogo em Mecatrônica Industrial) – Instituto Federal de Educação e Tecnologia do Ceará, Sobral, 2016.

NORTON, Robert L. **Projeto de Máquinas – Uma Abordagem Integrada**. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2013, 1055 p.

SCHAEFFLER. **Guias lineares de esferas**. Disponível em: <https://www.schaeffler.com.br/content.schaeffler.com.br/pt/products_services/inafagproduct/s/linear_products/monorail_guidance_systems/ball_monorail/Ball_monorail.jsp>. Acesso em: 29 jan 2018.

SILVA, Marco Antero Rodrigues. **PROJETO DE FABRICAÇÃO EM COMANDO NUMÉRICO DO CORPO DE UMA GUITARRA ELÉTRICA**. 2013. 73 f. Tese (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

TECMAF. **Engenharia Aplicações: Avanço de corte**. Disponível em: <<http://www.tecmaf.com.br/portugues/aplicacoes?id=6>>. Acesso em: 08 de nov. de 2015.

TECMAF Industria e Comercio Ltda. **Maior desempenho com melhor custo-benefício: Motores Spindle Tecmaf**.

THOMSON – Linear Motion. **Fusos de avanço, fusos de esfera e eixos estriados**. Thomson – a escolha para soluções de movimento otimizadas.

WEG, **Automação Servoconversor SCA06 Servomotor SWA**. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-servoconversor-sca06-50022905-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 28 de fev. 2018.