

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MOISÉS FROZZA

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA MANDRILADORA PORTÁTIL

PATO BRANCO

2023

MOISÉS FROZZA

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA MANDRILADORA PORTÁTIL

Design and Development of a Portable Boring Machine

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Fabio de Freitas Lima

PATO BRANCO

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

MOISÉS FROZZA

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA MANDRILADORA PORTÁTIL

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Data de aprovação: 23 / Novembro / 2023

CICERO GALLINA DE AGUIAR
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

ROBERTO NUNES DA COSTA
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

VITOR BALDIN
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

FÁBIO DE FREITAS LIMA
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PATO BRANCO

2023

Dedico este trabalho à minha família, minha
razão de viver.

RESUMO

Máquinas e equipamentos mecânicos sujeitos a severas condições de trabalho ou a manutenções irregulares tendem a apresentar danos em componentes de articulações, apresentando desgaste em assento de rolamentos, assento de eixos, em pinos e em buchas. Em muitos casos a correção deve ser realizada através de usinagem, para a recuperação da cilindridade da base, porém, muitos componentes apresentam grandes dimensões que são incompatíveis para a usinagem convencional realizada em torno, fresadora ou furadeira radial. Para isso, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver e apresentar o projeto detalhado, com o protótipo funcional de um mandrilador portátil, equipamento simples e de fácil instalação, que deve ser fixado à peça base que deverá ser corrigida, possibilitando a usinagem no local danificado, corrigindo assim sua cilindridade. Tendo em vista que os objetivos deste trabalho dizem respeito ao desenvolvimento e fabricação de um protótipo de mandriladora portátil, a concepção da ideia inicial é baseada nas necessidades específicas do mercado. Assim, as atividades desenvolvidas foram divididas em duas etapas: a primeira é o projeto, onde deve-se detalhar o protótipo através de modelos em três dimensões, definindo seu design, e a segunda etapa é a fabricação, acompanhada dos testes do equipamento.

Palavras-chave: mandrilador; portátil; usinagem; cilindridade.

ABSTRACT

Machines and mechanical equipment subject to severe working conditions or maintenance of irregular joints tend to have damage to joint components, presenting wear on bearing seats, axle seats, pins and bushings. In many cases the correction must be carried out through machining, for the recovery of the cylindricity of the base, however, many components have large dimensions that are incompatible for conventional machining carried out on a lathe, milling machine or radial drill. For that portable boring machine was developed, simple and easy to install equipment, which is fixed the base part that must be corrected, enabling machining in the damaged place, correcting so its cylindricity. Considering that the objectives of this work concern the development and manufacturing a portable boring machine prototype, the initial idea conception is based specific market needs. Thus, the activities developed were divided in two stages: the first is the project, where the prototype must be detailed through models in three dimensions, defining its design, and the second stage is manufacturing, accompanied equipment testing.

Keywords: boring machine; portable; machining; cylindricity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de referência do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) . . .	15
Figura 2 – Mandriladora de Willkinson acionada por roda d'água	18
Figura 3 – Classificação dos processos de fabricação	19
Figura 4 – Torno mecânico horizontal	20
Figura 5 – Fresadora mecânica horizontal	21
Figura 6 – Centro de usinagem	21
Figura 7 – Plaina limadora horizontal	22
Figura 8 – Movimentos da plaina limadora horizontal	22
Figura 9 – Processo de brochamento	23
Figura 10 – Partes de uma brocha	23
Figura 11 – Barra de mandrilar	24
Figura 12 – Variações para mandrilagem: (a) ferramenta em balanço, e (b) barra de mandrilar com bucha de apoio	25
Figura 13 – Mandrilamento cilíndrico	26
Figura 14 – Mandrilamento cônico	26
Figura 15 – Mandrilamento esférico	27
Figura 16 – Mandrilamento radial	27
Figura 17 – Eixos de movimentação da mandriladora	28
Figura 18 – (a) Mandrilador horizontal e (b) mandrilador vertical	29
Figura 19 – Mandriladora portátil	29
Figura 20 – Barra de mandrilar com apoio de bucha	30
Figura 21 – (a) Broca helicoidal de aço rápido e (b) broca com insertos intercambiáveis	30
Figura 22 – (a) e (b) Ferramenta de metal duro soldada e (c) cabeçote inserto intercambiável	31
Figura 23 – Sistema modular	32
Figura 24 – Direção dos movimentos	33
Figura 25 – Cunha de corte	35
Figura 26 – Raios da cunha de corte	35
Figura 27 – Representação do corte tridimensional	36
Figura 28 – Representação do corte tridimensional	36
Figura 29 – Influencia dos parâmetros de usinagem na formação de favacos	37

Figura 30 – Classificação dos cavacos	38
Figura 31 – Rugosidade de superfícies em diversos processos de fabricação	39
Figura 32 – Rugosidade média	40
Figura 33 – Características da rugosidade	40
Figura 34 – Rugosidade de superfícies em processos de usinagem	41
Figura 35 – Modelo em 3D do mandrilador	48
Figura 36 – Equipamentos utilizados para a fabricação do protótipo: (a) furadeira radial; (b) fresadora horizontal; (c) torno mecânico.	49
Figura 37 – Articulação de uma escavadeira hidráulica	50
Figura 38 – Articulação de uma carregadeira hidráulica	50
Figura 39 – Subconjunto motorreductor	54
Figura 40 – Quadro do comando elétrico	55
Figura 41 – Rolamento de inserção com mancal tipo flange	56
Figura 42 – Desalinhamento máximo suportado pelo rolamento	56
Figura 43 – Diferenciação componentes comerciais e fabricados	58
Figura 44 – Usinagem da chaveta	59
Figura 45 – Usinagem fuso	61
Figura 46 – Ferramentas	62
Figura 47 – Sistema de avanço da ferramenta	63
Figura 48 – Detalhe da chaveta	64
Figura 49 – Posicionamento da porca	65
Figura 50 – Montagem parafuso allen M16	66
Figura 51 – Montagem acoplamento	66
Figura 52 – Flange para fixação na peça base	67
Figura 53 – Variações de montagem para rolamentos cônicos	67
Figura 54 – Principais dimensões do protótipo	68
Figura 55 – Mandrilador portátil	69
Figura 56 – Montagem buchas cônicas. superior em X e inferior em O	70
Figura 57 – Mandrilador portátil	71
Figura 58 – Aresta de corte	72
Figura 59 – Formato dos cavacos	72
Figura 60 – Furo defeituoso com excentricidade	73

Figura 61 – Furo corrigido 74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações metas do protótipo	51
Tabela 2 – Componentes comerciais adquiridos	53
Tabela 3 – Materiais usados na fabricação	57
Tabela 4 – Materiais de consumo	57
Tabela 5 – Sequência de fabricação dos componentes	58
Tabela 6 – Corrente elétrica em relação a profundidade de corte	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Siglas

A	Ampére
a.C.	antes de Cristo
ap	Profundidade de Corte
APC	Aresta Postiça de Corte
CNC	Controle Numérico Computadorizado
EP	Aditivos de Extrema Pressão
HSS	High Speed Steel
m	Metros
mm	Milímetros
NR	Norma Regulamentadora
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
pol	Polegada
PVM	Produto Viável Mínimo
Ra	Rugosidade Média
re	Raio da Ponta
rh	Raio de Cunha
rpm	Rotações por Minuto
SAE	Society of Automotive Engineers International
TRM	Taxa de Remoção de Material
vc	Velocidade de Corte
ve	Velocidade Efetiva de Corte
vf	Velocidade de Avanço

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	13
1.1.1	Objetivo geral	13
1.1.2	Objetivos específicos	13
1.2	Justificativa	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Desenvolvimento de Produtos	15
2.1.1	Etapas do Desenvolvimento de Produtos	16
2.1.2	Quarta Revolução Industrial	17
2.2	Desenvolvimento das Máquinas Ferramentas	17
2.2.1	Contexto Histórico	17
2.2.2	Processos de Manufatura	19
2.2.3	Definindo alguns Processos de Usinagem	20
2.3	Conceito de Mandrilamento	24
2.3.1	Mandrilamento Cilíndrico	26
2.3.2	Mandrilamento Cônico	26
2.3.3	Mandrilamento Esférico	27
2.3.4	Mandrilamento Radial	27
2.4	Mandriladora	28
2.4.1	Ferramentas para Mandriladora	30
2.5	Parâmetros para Usinagem	33
2.5.1	Movimentos	33
2.5.2	Velocidades	34
2.5.3	Geometria da Ferramenta	35
2.5.4	Formação dos Cavacos	37
2.5.5	Integridade Superficial	39
2.5.6	Fluidos de Corte	42
2.6	Normas de Segurança	44
2.6.1	Princípios Gerais	44
2.6.2	Instalações e Dispositivos Elétricos	45

2.6.3	Dispositivos de Partida, Acionamento e Parada	45
2.6.4	Sistemas de Segurança	45
2.6.5	Dispositivos de Parada de Emergência.	46
3	METODOLOGIA	47
3.1	Materiais e Equipamentos	47
3.2	Utilização do Protótipo	49
4	PROJETO PRELIMINAR	51
5	FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO	53
5.1	Aquisição de Materiais	53
5.2	Fabricação dos Componentes	57
5.3	Montagem do Protótipo	64
5.3.1	Procedimentos de Montagem	64
6	TESTE EM CAMPO	69
6.1	Instalação	69
6.2	Potência Elétrica e Adequação da Velocidade	70
6.3	Rigidez Barra de Mandrilar	71
6.4	Aresta de Corte Eficiente	72
6.5	Sistema de Avanço	73
6.6	Qualidade na Usinagem	73
6.7	Sistema de Lubrificação	75
6.8	Segurança e Controle	75
7	CONCLUSÃO	77
	REFERÊNCIAS	78
	APÊNDICES	80

1 INTRODUÇÃO

A demanda de recursos como alimentos, energia elétrica, minérios de ferro ou alumínio gerada pela população, assim como a construção de cidades, rodovias, portos e indústrias tem gerado uma necessidade crescente de utilização de equipamentos ou máquinas com grandes dimensões e melhores índices de produtividade, aumentando assim a produção em um curto espaço de tempo, suprimindo as necessidades em questão.

Contudo, para que o alto investimento nestes equipamentos seja compensatório, eles devem operar com sua capacidade máxima de trabalho na maior quantidade de tempo possível. Porém, equipamentos mecânicos sujeitos a esforços extremos ou a ambientes agressivos tendem a apresentar avarias, que podem ser graves ou não, dependendo da execução de planos de manutenção (ALMEIDA, 2014).

No entanto, mesmo com o acompanhamento da manutenção, os sistemas sofrem deterioração que, por consequência ocasiona falhas, dentre as quais destacam-se: o desgaste em articulações entre pinos e buchas e o desgaste em sede de rolamentos. Quando essas avarias não são corrigidas a tempo, esses defeitos acabam por danificar mais o conjunto, e a sua correção passa de uma simples substituição de componentes para um processo mais complexo envolvendo soldagem e usinagem (AGOSTINHO, 2018).

Como muitos desses componentes apresentam dimensões elevadas, sendo onerosa a usinagem pelo método convencional, o trabalho em questão aborda o desenvolvimento de um dispositivo: um equipamento portátil, de fácil instalação, que é fixado à peça base, para usinagem no local danificado, realizando assim a correção da cilindricidade e da integridade superficial, atendendo a parâmetros geométricos e dimensionais (Machado et al., 2009).

1.1 Objetivos

Desenvolver um equipamento portátil para usinagem de peças de grandes dimensões, com foco no aspecto construtivo e em amplos parâmetros de usinagem.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é projetar e desenvolver um equipamento para realizar a usinagem, mantendo critérios de cilindridade e integridade superficial aceitáveis, entre elas a rugosidade, em peças ou componentes de grandes dimensões para máquinas de diversos segmentos.

1.1.2 Objetivos específicos

Para que o objetivo geral proposto possa ser atingido, foram definidos os objetivos específicos a seguir:

- Desenvolver um equipamento que atenda a demanda exigida;
- Dimensionar as peças com geometria simples e tolerâncias dimensionais aceitáveis para a fabricação, montagem e operação;
- Apresentar facilidade no manuseio e em possíveis manutenções;
- Mensurar velocidades de cortes;
- Determinar parâmetros de rugosidade e cilindridade aceitáveis para o processo;
- Especificar a correta geometria das ferramentas de corte para que atenda a parâmetros de integridade superficial e cilindridade;
- Desenvolver um sistema de aspersão para o fluido de corte;
- Identificar as normas vigentes de segurança, para que o mandrilador seja desenvolvido seguindo essas normas.

1.2 Justificativa

Na busca por soluções para um determinado problema, desenvolveu-se um equipamento portátil específico para a usinagem de furos, realizando o mandrilamento do local, corrigindo assim irregularidades na cilindricidade, circularidade e integridade superficial, causadas por não conformidades do sistema.

O mandrilador portátil é de fácil instalação na peça base e de simples operação, possibilitando assim que a correção possa ser realizada em peças de grandes dimensões, onde a usinagem convencional se torna muito onerosa, podendo até ser inviável, e em muitas casos, não há necessidade de um desmonte total da peça, reduzindo o tempo da manutenção.

O equipamento é ideal para ser utilizado na recuperação de máquinas da linha pesada, dentre essas: retroescavadeiras, tratores de esteira, escavadeiras hidráulicas ou para máquinas industriais de grande porte, entre outros do gênero.

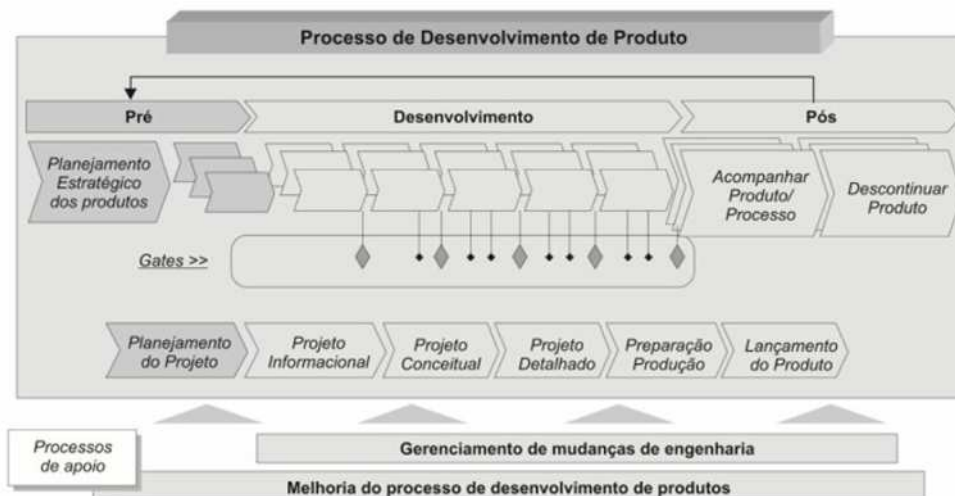
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Desenvolvimento de Produtos

O Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) consiste em ações nas quais buscam-se, a partir das necessidades do mercado, das possibilidades e das restrições tecnológicas, e consideradas as estratégias competitivas, chegar às especificações de um produto e de seu processo de produção. Também envolve as atividades subsequentes ao lançamento, como o acompanhamento do produto para, assim, serem realizadas as eventuais atualizações, entre outras etapas demonstradas através do modelo da Figura 1 (Rozenfeld et al., 2006).

Este processo encontra-se na interface entre a empresa e o mercado consumidor, sendo parte do processo, muitas vezes, identificar e até mesmo antecipar as necessidades dos consumidores, propondo soluções. Daí sua importância estratégica em todas as fases de vida do produto, identificando as possibilidades tecnológicas, desenvolvendo um produto que atenda as expectativas, em termos de qualidade total, em tempo adequado (mais rápido que os concorrentes), e a um custo competitivo (Rozenfeld et al., 2006).

Figura 1 – Modelo de referência do PDP



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

As macro fases de pré e pós desenvolvimento são um pouco abstratas e podem sofrer alterações de acordo com empresa que a utilizará. A fase de desenvolvimento enfatiza os aspectos que definem o produto, em suas características e forma de produção e, portanto, é dependente da tecnologia envolvida no produto. O que determina cada fase são os resultados: quando os resultados de uma determinada fase são atingidos, outra fase inicia-se, e o processo de desenvolvimento muda para outro patamar (Rozenfeld et al., 2006).

2.1.1 Etapas do Desenvolvimento de Produtos

O PDP é composto por seis fases, iniciando pela fase de: a) Concepção de Ideias, seguindo para as fases de: b) Definição do Produto; c) Estágio de Protótipo; d) Design; e) Validação e Testes; e por fim, pela fase f) de Comercialização, as quais são descritas a seguir (RAEBURN, 2022).

A Concepção da ideia é o estágio inicial do processo de desenvolvimento de produtos, e baseia-se, muitas vezes, nas necessidades específicas do mercado. Neste estágio, imagina-se conceitos de produto com base nas necessidades dos clientes, preço e pesquisa de mercado. Alguns fatores podem interferir na criação do conceito, sendo: O próprio mercado alvo, os produtos similares, a sua funcionalidade, a análise dos pontos fortes e pontos fracos, e o método Scamper, que refina a ideia inicial (RAEBURN, 2022).

Após debater o mercado-alvo e sua funcionalidade, tem-se a fase de Definição do Produto, na qual define-se o produto como um todo, sendo também conhecida como "escopo ou desenvolvimento de conceito". Essa fase se concentra no refinamento da estratégia de criação do produto, sendo importante estabelecer suas particularidades, como: Análise comercial, proposição de valor de mercado e estratégias de marketing (RAEBURN, 2022).

No estágio de Protótipo, deve-se pesquisar e documentar exaustivamente o produto conceito, criando então um plano de negócios detalhado. O protótipo inicial pode ser simples como um croqui ou uma renderização computacional em 3D mais complexa. O protótipo ajuda a identificar pontos fracos antes da concepção do produto, e a elaborar uma estratégia de desenvolvimento e uma análise de viabilidade, e é aqui que se obtém o Produto Viável Mínimo (PVM) (RAEBURN, 2022).

Na fase da Desing é proposto um modelo com base no protótipo do PVM. Deve-se levar em consideração o público-alvo e complementar suas funções primordiais. Um design de produto bem-sucedido pode passar por várias atualizações até se obter o modelo ótimo. Nesta etapa é necessária ampla interação com a equipe de projeto para um bom acompanhamento do desenvolvimento e deve-se conhecer os materiais com características técnicas necessárias, saber de suas disponibilidades e manter bons contatos com fornecedores (RAEBURN, 2022).

Em seguida deve-se realizar a validação e testes no produto através de simulações de situações reais. Isso garante que todos os componentes do produto estejam funcionando de modo eficaz, para que se possa realizar sua comercialização (RAEBURN, 2022).

A Comercialização, por fim, é a etapa onde deve-se aplicar as estratégias de marketing, utilizando aspectos como desenvolvimento do produto onde trata-se da criação física, que será lançado aos seus clientes, e usar os recursos disponíveis como a implementação do comércio eletrônico para um maior alcance de mercado (RAEBURN, 2022).

2.1.2 Quarta Revolução Industrial

A necessidade de desenvolvimento de novos produtos é explicada pela alta demanda de segmentos específicos do mercado para incorporar novas tecnologias, se adequar a restrições legais e principalmente ser capaz de interagir com outros produtos ou equipamentos, ou seja, se adaptar a chamada Indústria 4.0 (Rozenfeld et al., 2006).

A Indústria 4.0, também conhecida como Quarta Revolução Industrial, é uma megatendência na qual as inovações e tecnologias se caracterizam por aproveitarem a disseminação da digitalização, como por exemplo a utilização de robôs através do uso da inteligência artificial. Para identificar o que é uma megatendência, pode-se dividi-la em categorias: física, digital e biológica, que são profundamente inter-relacionadas e onde as tecnologias beneficiam-se mutuamente. As que apresentam maior relevância para este trabalho são as manifestações físicas, que podem ser observadas nos veículos autônomos, na impressão 3D, na robótica avançada e no desenvolvimento de novos materiais (SCHWAB, 2016).

2.2 Desenvolvimento das Máquinas Ferramentas

2.2.1 Contexto Histórico

Todo produto, equipamento ou máquina desenvolvida, independente da sua funcionalidade ou tecnologia utilizada, é criada para sanar uma demanda em específico do mercado consumidor e sempre apresenta novas versões, acompanhando os avanços tecnológicos.

Em se tratando das máquinas-ferramentas, suas origens podem ser remontadas ao período paleolítico superior, cerca de 6000 antes de Cristo (a.C.) onde foram desenvolvidas ferramentas primitivas usando pedaços de madeira para a estrutura e pedra lascada como ferramenta de corte. Os primeiros tornos datam do ano 1000 a.C., sendo que o Renascimento proporcionou o ambiente para a primeira grande evolução destes. Desde então, a busca por maior precisão e qualidade superficial na fabricação se tornou a constante da engenharia (STOETERAU, 1999).

Os primeiros tornos desenvolvidos segundo princípios modernos foram construídos pelo francês Vaucanson, por volta de 1765, usavam barramentos prismáticos paralelos em V, os quais só encontraram aceitação no século seguinte, por intermédio de Maudslay. Este foi quem utilizou como elemento estrutural de uma máquina-ferramenta o ferro, aço e bronze em substituição à madeira. Um dos discípulos de Maudslay, Nasmyth, inventor da forja a vapor, foi a pessoa que expressou as ideias de Maudslay em três regras básicas:

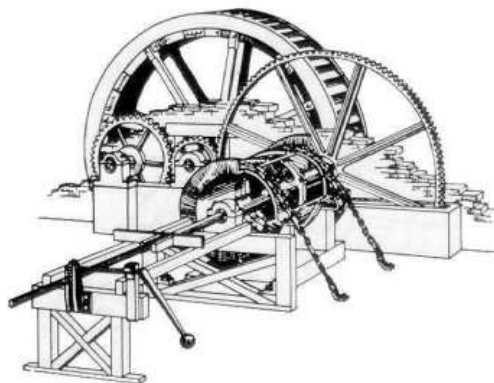
- Tenha uma noção clara do que deseja obter e então você terá todas as condições de fazê-lo;

- Mantenha um controle de qualidade rígido sobre seus materiais; tenha uma visão clara de material e qual sua importância. Evite complexidade e faça tudo tão simples quanto possível;
- Lembre-se de ter uma noção da função exercida por cada uma das peças (STOETERAU, 1999).

Estas são a essência para um bom projeto de uma máquina-ferramenta. O projeto, por sua natureza, é um processo sistemático e apresenta as relações que envolvem o projeto, onde a qualidade está relacionada com os sistemas que a compõem, o uso a que se destina, os esforços mecânicos e térmicos a que será submetida, forma como afeta o meio ambiente, precisão e acabamento especificados para a peça (ALMEIDA, 2015).

Um grande salto de qualidade foi dado através da Revolução Industrial, onde uma nova classe de materiais surgiu, melhorando a qualidade dos aços, tanto estruturais, quanto para as ferramentas de corte. A utilização do vapor como fonte de energia impulsionou a indústria metal-mecânica, e no final do século XVIII e início do século XIX, propiciando o aparecimento de máquinas-ferramentas responsáveis pela fabricação de outras variedades de máquinas e instrumentos em substituição ao trabalho humano em diversas atividades. A primeira contribuição relevante foi apresentada por John Wilkinson, em 1774, ao construir uma máquina para mandrilar cilindros de máquinas a vapor, ilustrada na Figura 2, os quais antes eram usinados com equipamentos originalmente projetados para mandrilar canhões e que, portanto, não eram capazes de assegurar a exatidão exigida (Machado et al., 2009).

Figura 2 – Mandriladora de Willkinson acionada por roda d'água



Fonte: Adaptado de STOETERAU (1999).

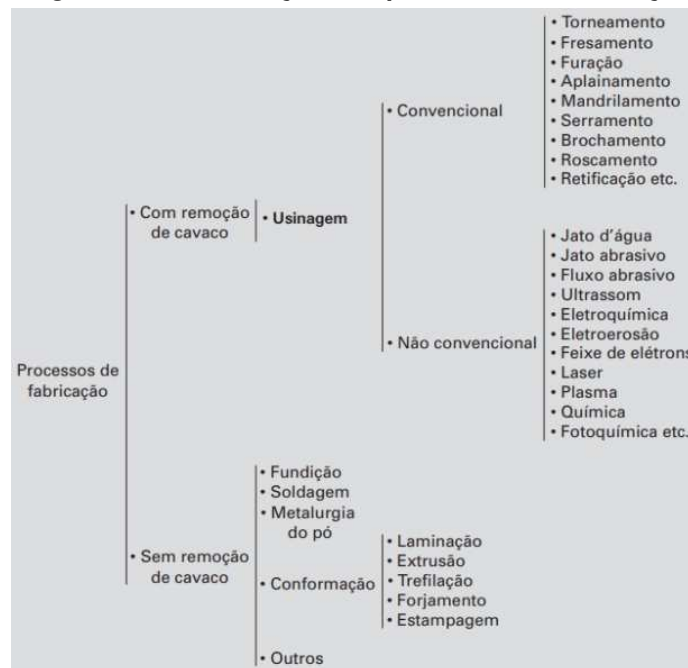
Em 1797, Henry Maudslay desenvolveu o primeiro torno com avanço automático regulável, permitindo a produção de roscas com passo definido. Após, surgiu a plainadora e, em 1860, a retificadora. A primeira fresadora universal, desenvolvida por J. R. Brown, surgiu em 1862 e foi utilizada inicialmente para a produção de canais em brocas helicoidais. Outro desenvolvimento importante ocorreu em 1896, quando F. W. Fellows desenvolveu uma máquina capaz de produzir praticamente qualquer tipo de engrenagem (Machado et al., 2009).

2.2.2 Processos de Manufatura

No século XX surgiu a necessidade de produzir peças a partir de materiais mais resistentes, para que estes durassem por mais tempo. Conseqüentemente, estes materiais mais resistentes eram mais difíceis de serem usinados, o que levou ao desenvolvimento de novas ferramentas de corte. Dentre os processos de manufatura, a usinagem é a atividade mais usada e pode ser feita através de ferramentas manuais como limas, arco de serra, machos e alargadores, ou através de máquinas operatrizes como torno, fresadora, mandriladora, brochadeira, plaina, máquinas de produção seriada, entre outros (ALMEIDA, 2015).

Dentre os vários processos de manufatura, conforme classificação apresentada na Figura 3, encontra-se o processo de usinagem - que é um dos objetivos deste trabalho. A usinagem pode ser definida como um processo de fabricação com remoção de cavaco, ou então ser definida como sendo uma operação que, ao conferir à peça forma, dimensões e acabamento desejado, produz cavaco. Cavaco nada mais é que uma porção de material removida da peça pela ferramenta de corte com o intuito de apresentar forma geométrica desejada (Machado et al., 2009).

Figura 3 – Classificação dos processos de fabricação



Fonte: Adaptado de Machado et al. (2009).

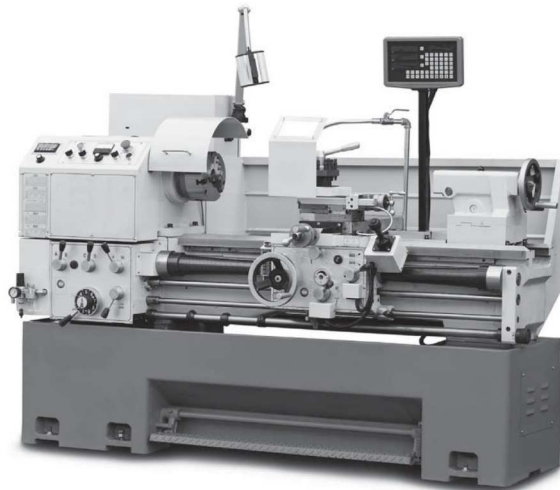
A usinagem é um processo de deformação elastoplástica e que possui imprevisibilidade, a qual se deve a restrições que podem estar relacionadas à ferramenta de corte. Além disso, o processo apresenta inúmeros parâmetros de entrada e existem três abordagens para lidar com tal complexabilidade, sendo: experiência prática através dos acertos e erros, experimentação - que é restrita a determinadas situações, e modelos teóricos ou matemáticos. No geral

essas abordagens não apresentam bons resultados quando aplicadas individualmente, mas a combinação delas traz resultados satisfatórios para o processo (Machado et al., 2009).

2.2.3 Definindo alguns Processos de Usinagem

Um dos processos de usinagem mais conhecidos é o processo de torneamento, tanto por torno convencional horizontal ou Controle Numérico Computadorizado (CNC). Ambos apresentam muitas variações para atender aos diversos processos, como para fabricação de peças em série ou para serviços de manutenção. A variação de horizontal e vertical está relacionada com a posição do fuso principal ou pela ocupação. O horizontal destina-se a peças com dimensões de pequeno a médio porte e a variação na vertical é para peças de médio a grande porte. O torno apresentado na Figura 4 é um exemplo de máquina-ferramenta adequada para usinagem de peças cilíndricas, mas pode facilmente fabricar peças com perfis especiais, com a utilização de fixadores adequados. O processo ocorre quando a peça é presa a placa, ligada ao eixo de rotação, e a ferramenta realiza movimentos em 2 eixos, XZ. Assim é possível realizar operações de faceamento, rosca, abrir canais, desbaste longitudinal, fazer furos entre outras (ALMEIDA, 2015).

Figura 4 – Torno mecânico horizontal



Fonte: Adaptado de Almeida (2015).

O processo de fresamento é realizado pela fresadora mecânica universal, mostrada na Figura 5, que apresenta algumas variações como a fresadora copiadora, ferramenteira e com comando numérico CNC, que recebe o nome de centro de usinagem. A fresadora é uma máquina-ferramenta destinada para fabricação de peças prismáticas, furação, mandrilamento, rasgo de chaveta e fabricação de engrenagens com o auxílio de um cabeçote divisor e de fresas módulos. No processo de fresamento a peça fica presa à mesa da máquina que realiza a movimentação nos três eixos XYZ, ou quatro eixos se for considerada a utilização do cabeçote divisor, enquanto a ferramenta é quem possui o movimento de rotação. Como nos tornos, se for

considerada a posição do fuso principal, podem ser classificadas como horizontais ou verticais (ALMEIDA, 2015).

Figura 5 – Fresadora mecânica horizontal



Fonte: Adaptado de TecnoProd (2022).

Máquinas-ferramentas operadas manualmente, como o torno ou a fresadora, nunca deixarão de existir, sempre haverá demanda para elas, desde que exista profissionais aptos à operá-las. Porém, com a redução dos custos e o avanço dos controladores eletrônicos, a tecnologia CNC popularizou-se entre indústrias, sendo impossível imaginar o setor metal-mecânico sem elas. Os benefícios das máquinas CNC, como a da Figura 6 são:

- Facilidade na fabricação de peças com geometrias complexas com tolerâncias dimensionais mais estreitas;
- Acabamento superficial superior comparado ao processo tradicional;
- Maior repetibilidade de produto, reduzindo a fadiga dos operadores que passam a ser responsáveis apenas por tarefas de preparação, programação e controles (GENEROSO, 2011).

Figura 6 – Centro de usinagem



Fonte: Adaptado de Romi (2022).

No processo de aplainamento tem-se como objetivo a obtenção de superfícies planas, na posição horizontal, vertical ou inclinada, realizando a usinagem de estrias, rasgos, rebaxos, chanfros e faceamento de topo. Na operação, a peça fica presa na mesa da máquina que realiza avanços transversais e a ferramenta mono-cortante realiza movimentos lineares alternativos. Sua principal variação é a plaina limadora da Figura 7, podendo apresentar opções verticais (Chaveteira) e horizontais para peças de pequenas dimensões e plaina de mesa para peças de grandes dimensões (GOULART, 2022).

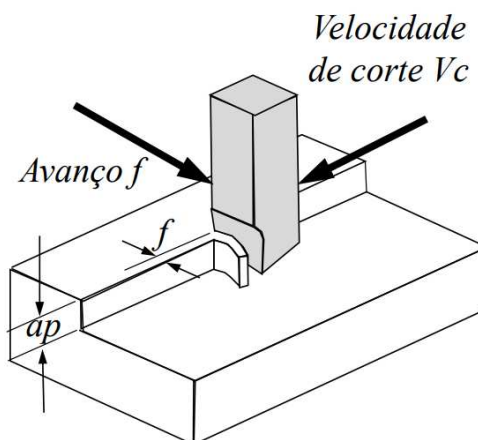
Figura 7 – Plaina limadora horizontal



Fonte: Adaptado de Goulart (2022).

A plaina limadora é a ferramenta que faz o movimento de corte e a peça apresenta pequenos avanços transversais. Esse deslocamento é chamado de passo do avanço, ambos apresentados na Figura 8. O curso máximo da plaina limadora, em geral, é de 900 mm. Por esse motivo ela só pode ser usada para usinar peças de tamanho médio ou pequeno (GOULART, 2022).

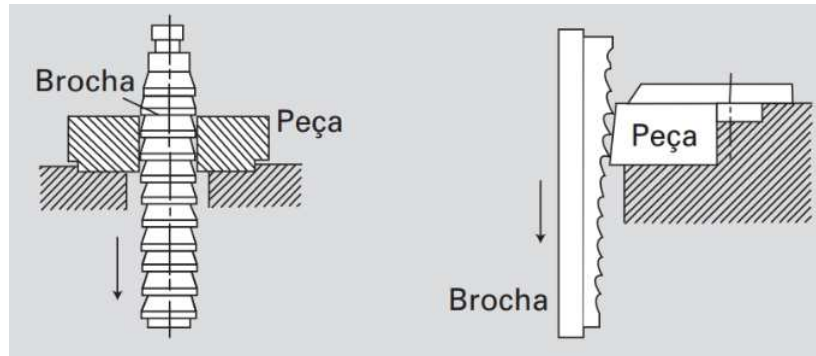
Figura 8 – Movimentos da plaina limadora horizontal



Fonte: Adaptado de Goulart (2022).

O processo de brochamento é largamente utilizado pois apresenta alta produtividade, sendo uma operação de usinagem econômica, aplicada quando se deseja produzir detalhes em furos vazados, como estrias, canais de chaveta ou furos com formas diferentes da cilíndrica. Para isso a ferramenta conhecida como brocha deve ter o perfil que se deseja para o furo final. A brocha é tracionada contra a peça, usinando em um único passe com ótimo acabamento superficial e repetibilidade, como demonstrado na Figura 9 (Machado et al., 2009).

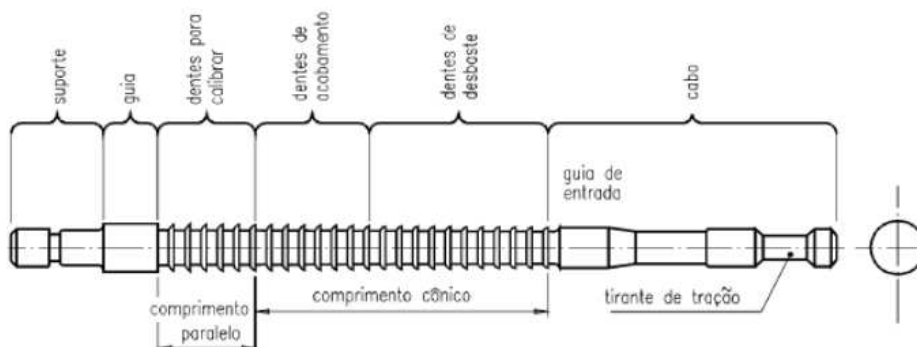
Figura 9 – Processo de brochamento



Fonte: Adaptado de Machado et al. (2009).

As operações de desbaste e acabamento são realizadas pela mesma ferramenta em único passe. Para isso a ferramenta possui características conforme demonstrado na Figura 10, onde inicia-se pela haste que é a ponteira da ferramenta, anterior aos dentes, sendo constituída de guia dianteira e cabeça de tração, seguida dos dentes de desbaste que ficam na parte inicial da peça, retirando a maior parte do material, os dentes de acabamento que por sua vez localizam-se na parte central da ferramenta tendo como função o alisamento da peça e definição da precisão e medida final, e os dentes de reserva que ficam logo após os dentes de acabamento, tendo a função de substituírem os dentes que apresentam desgaste ao longo do tempo e, por fim a guia traseira, localizada na outra extremidade guiando a ferramenta no seu curso completo (CASPAR, 1995).

Figura 10 – Partes de uma brocha



Fonte: Adaptado de Caspar (1995).

As brochas seguem as classificações quanto ao tipo de superfície, sendo interna ou externa; quanto a forma de aplicação de força, que pode ser em compressão ou tração giratórias; e quanto à forma de construção, a disposição dos gumes, a função destinada a rasgo de chaveta, furos redondos, alisamento ou outros. Os dentes das brochas são componentes de suma importância para o funcionamento correto e produtivo do processo de brochamento. São eles que realizam o corte do material, são dispostos em série e apresentam alturas crescentes, que determinam a penetração de avanço Profundidade de Corte (ap). Para isso os primeiros dentes, de desbaste, são de dimensões aproximadas das medidas finais da peça para arrancar o material e assegurar o corte, e enquanto os dentes de acabamento se aproximam progressivamente da forma final desejada (CASPAR, 1995).

Outro processo de fabricação por usinagem, muito utilizado, mas erroneamente denominado, é o mandrilamento, assunto tema deste trabalho e que será melhor compreendido. Seu objetivo é aumentar o diâmetro de um furo, garantindo boa qualidade de forma, boa qualidade da superfície e estreitas tolerâncias dimensionais, para o caso de peças fundidas ou forjadas e também para a recuperação de peças danificadas, usinando apenas as regiões que se desgastaram. Para o mandrilador de furos, há vários sistemas de ferramentas disponíveis em uma ampla faixa de diâmetros, tanto para operações de precisão e em desbaste. Tanto a ferramenta quanto a peça podem executar o movimento de rotação, e o processo também pode ser conhecido como torneamento interno, realizado em tornos ou fresadoras (Machado et al., 2009).

2.3 Conceito de Mandrilamento

O Mandrilamento é um processo mecânico de usinagem interna, para superfícies de revolução, com o auxílio de uma ferramentas de corte. Nessa operação, a ferramenta é fixada a uma barra de mandrilar, Figura 11, e pode apresentar um determinado ângulo, de acordo com a operação a ser realizada e ou material a ser usinado. O Processo pode ser definido como uma operação de acabamento para pré-furos em peças fundidas ou forjadas, através da mandrilagem, ou ainda para a obtenção de furos em peças maciças, através do broqueamento, posteriormente a mandrilagem e quando necessário o brunimento (FERRARESI, 1970).

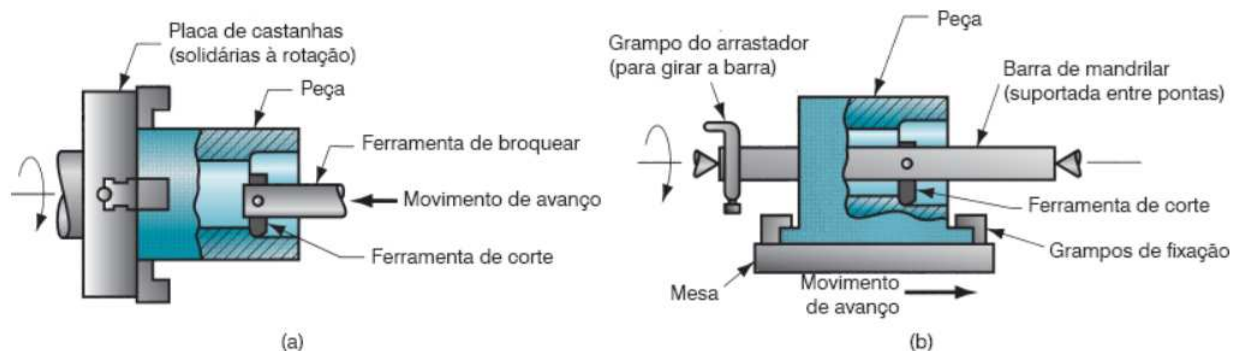
Figura 11 – Barra de mandrilar



Fonte: Adaptado de Ferraresi (1970).

A operação de mandrilamento, apresenta duas configuração básicas, apresentadas nas Figuras 12 (a) e 12 (b). Na primeira a peça é fixada ao eixo em rotação, e a ferramenta de corte é presa à ferramenta de broquear em balanço, que avança sobre a peça. A ferramenta de broquear, deve ser rígida o suficiente para evitar deflexão e vibração durante o corte, Para ter grande rigidez, são frequentemente feitas de metal duro ou High Speed Steel (HSS),. A segunda configuração possível é aquela em que a ferramenta é montada na barra de mandrilar, que está apoiada e gira entre centros, a peça é presa a um mecanismo de avanço que a desloca através da barra de mandrilar onde está montada a ferramenta, pode ser usada para executar uma operação de mandrilar em uma mandriladora (GROOVER, 2014)

Figura 12 – Variações para mandrilagem: (a) ferramenta em balanço, e (b) barra de mandrilar com bucha de apoio



Fonte: Adaptado de Groover (2014).

Dependendo da geometria e tamanho da peça, o mandrilamento, pode ser executado para obtenção de superfícies cilíndricas aplicadas em sedes de rolamentos, pinos, encaixe de tampas, em superfícies cônicas como para sistemas porta pinça, para superfícies planas através do mandrilamento radial e por ultimo o mandrilamento esférico para terminal rotular. O processo é aplicado em espaços normalmente difíceis de serem usinados por outros métodos (FERRARESI, 1970).

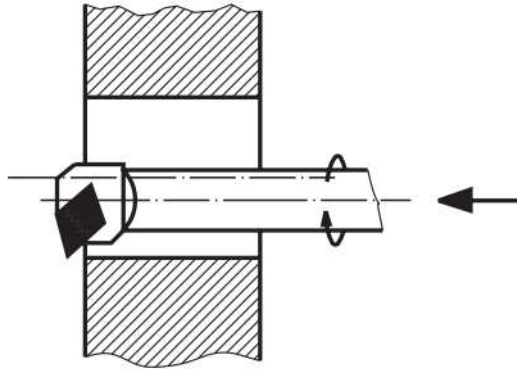
Cada etapa da operação de mandrilamento deve fornecer como resultado peças com qualidade geométrica e dimensional conforme os limites de tolerância especificados. Caso uma das etapas não esteja desempenhando bem a sua função, isso pode acarretar na redução da vida das ferramentas das etapas e de operações posteriores ao mandrilamento e ao brunimento, provocando problemas de instabilidade da linha e elevação do custo de produção (FERRARESI, 1970).

As máquinas ferramentas específicas para mandrilar, denominadas mandriladoras são máquinas especiais que permitem a adaptação de várias ferramentas, com o acoplamento de acessórios apropriados. Dependendo da posição do eixo arvore, as mandriladoras podem ser caracterizadas como horizontais, verticais ou portáteis (Machado et al., 2009).

2.3.1 Mandrilamento Cilíndrico

No mandrilamento cilíndrico, figura 13, o processo resultante é uma superfície usinada cilíndrica e concêntrica, em que, seu eixo de rotação coincide com o eixo de giro da ferramenta, obtendo um furo, podendo ser passante ou não. O processo é usualmente aplicado em tornos, com adaptações para fresadoras (FERRARESI, 1970).

Figura 13 – Mandrilamento cilíndrico

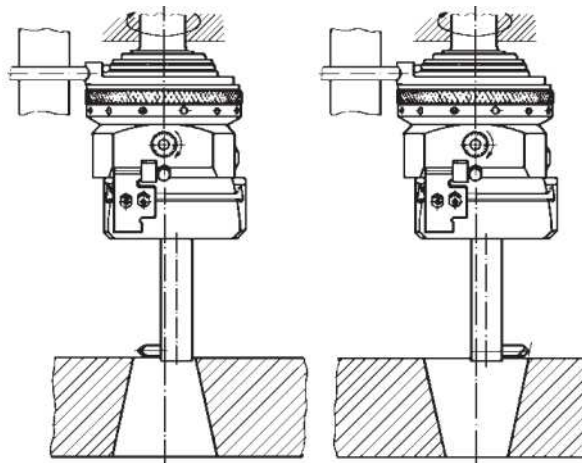


Fonte: Adaptado de Ferraresi (1970).

2.3.2 Mandrilamento Cônico

O mandrilamento cônico, Figura 14, é o processo em que se obtém uma superfície com geometria cônica, seu eixo de rotação coincide com o eixo em torno do qual a ferramenta gira. É necessário o uso da suporte específico para a ferramenta, chamada de bailarina expansiva, que permite um deslocamento progressivo da ferramenta a cada giro do eixo principal (FERRARESI, 1970).

Figura 14 – Mandrilamento cônico

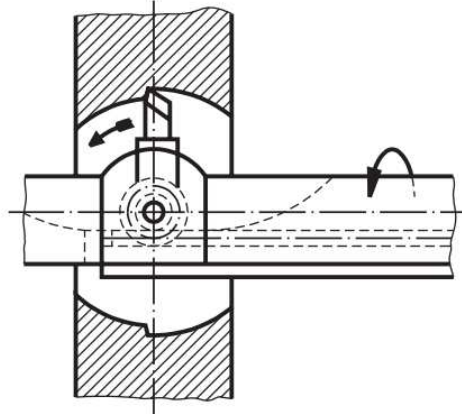


Fonte: Adaptado de Ferraresi (1970).

2.3.3 Mandrilamento esférico

O mandrilamento esférico, Figura 15, é o processo em que a superfície usinada é esférica e o eixo de rotação coincide com o eixo em torno do qual a ferramenta gira. Também é necessário o uso da suporte específico para a ferramenta, permitindo um movimento circular da mesma (FERRARESI, 1970).

Figura 15 – Mandrilamento esférico

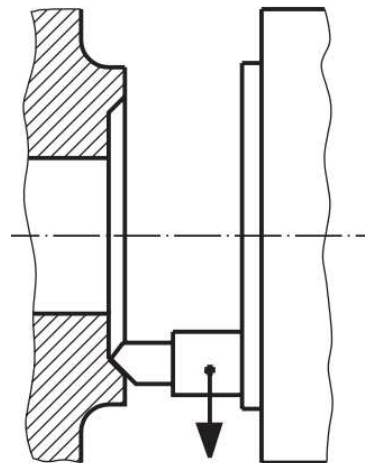


Fonte: Adaptado de Ferraresi (1970).

2.3.4 Mandrilamento Radial

O mandrilamento radial, Figura 16, é o processo em que a superfície usinada é plana e perpendicular ao eixo em torno do qual gira a ferramenta, realizando assim o faceamento no local determinado, podendo também realizar operações de chanframento reto e arredondado, alterando apenas a ferramenta de corte (FERRARESI, 1970).

Figura 16 – Mandrilamento radial



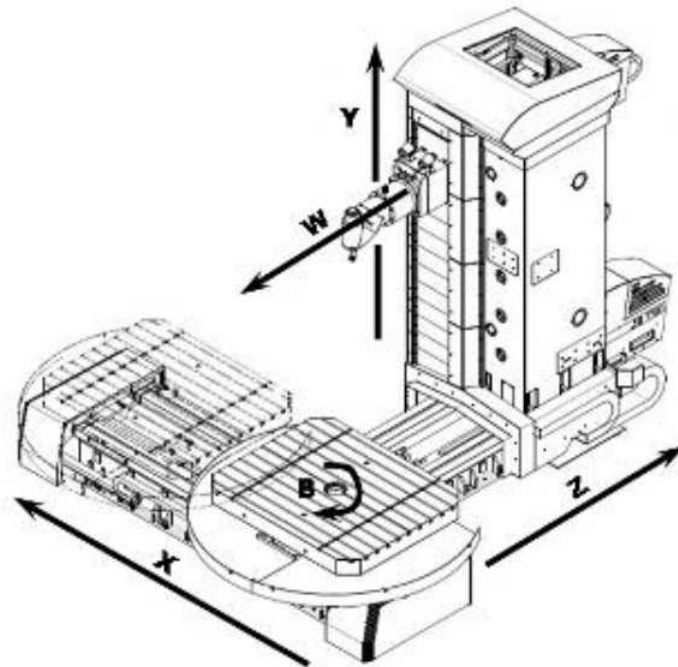
Fonte: Adaptado de Ferraresi (1970).

2.4 Mandriladora

Como descrito anteriormente, as mandriladoras como a da Figura 17, são máquinas que permitem a adaptação de diferentes tipos de ferramentas, com o uso de um sistema modular. Além do mandrilamento, pode ser realizadas operações de furação, fresamento, rosqueamento entre outras, tornando-se, uma máquina universal (Machado et al., 2009).

Aplicada para usinagem de grandes carcaças para caixas de engrenagens, estruturas de máquinas, realizando o faceamento de peças com forma prismática com o auxílio da mesa giratória possibilitando a usinagem em todos os lados. A peça fica presa na mesa da máquina, se deslocando linearmente em dois sentidos XZ, além do giro B, e a ferramenta é que possui a rotação para o corte W e pode se deslocar linearmente no sentido Y (FERRARESI, 1970).

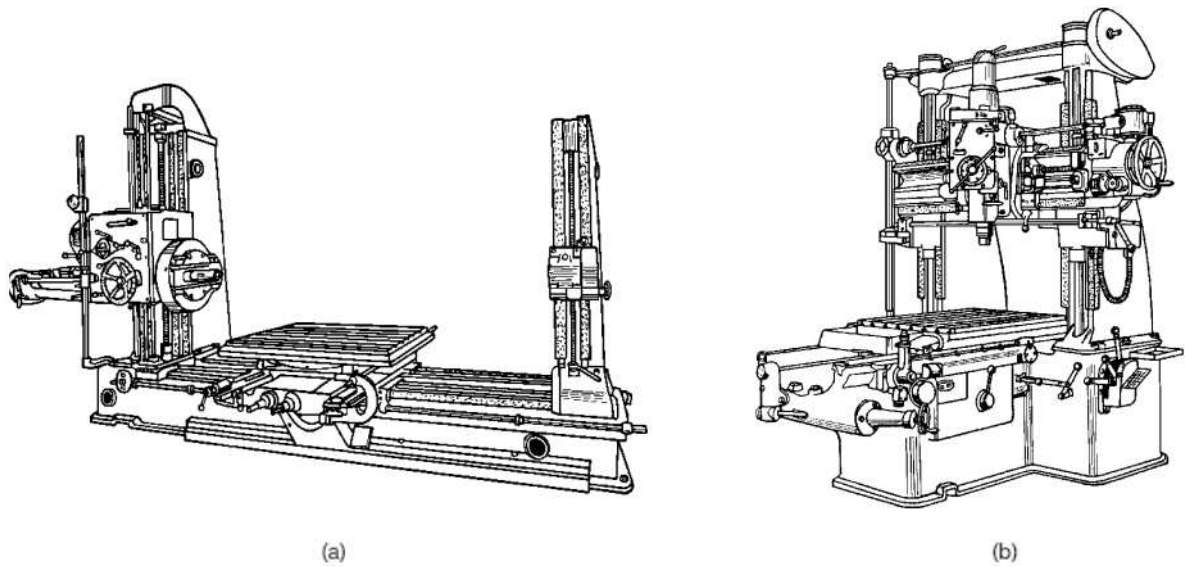
Figura 17 – Eixos de movimentação da mandriladora



Fonte: Adaptado de Ferraresi (1970).

Devido à possibilidade de realizar um grande número de movimentos, pode se posicionar a ferramenta para usinar um furo ajustando-se o cabeçote de corte na altura especificada, e a mesa na posição transversal. Todos os deslocamentos, tanto lineares ou de giro são indicados e controlados através de escalas graduadas. Nas mandriladoras mais modernas, as escalas possuem equipamentos de leitura óptica ou contadores numéricos digitais, que permitem maior exatidão no trabalho. Sua vantagem é a economia de tempo, pois apresenta a capacidade de processar todas as operações necessárias de usinagem, do começo ao fim, do desbaste ao acabamento, sem que haja necessidade de remover a peça da máquina. Como nos tornos e fresadoras, podem apresentar versões na horizontal e na vertical, Figura 18 (FERRARESI, 1970).

Figura 18 – (a) Mandrilador horizontal e (b) mandrilador vertical

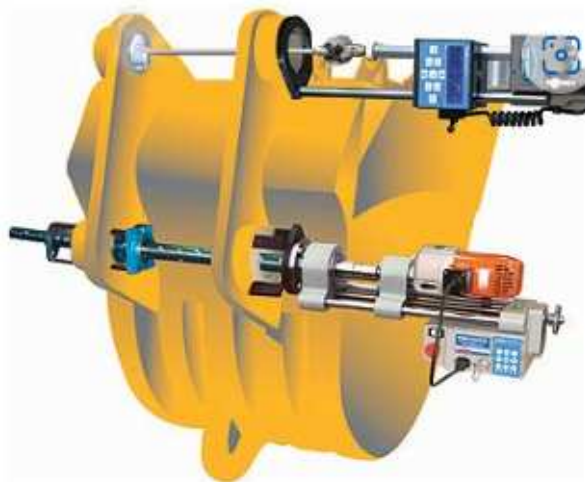


Fonte: Adaptado de Ferraresi (1970).

Quando o equipamento convencional não suporta a peça, devido as grandes dimensões e de difícil manuseio para o posicionamento na mesa da mandriladora, opta-se pelo uso das mandriladoras portáteis exemplificadas na Figura 19 (FERRARESI, 1970).

O equipamento faz o trabalho através da barra de mandrilar, ao qual está acoplada uma ferramenta de usinagem, esse eixo apresenta dois sentidos de movimento, sendo de rotação e avanço longitudinal. Ao posicionar a barra de mandrilar no centro do furo que se deseja usinar, o equipamento é fixado a peça por solda em uma extremidade da barra e na outra extremidade é fixado com solda um mancal de apoio para evitar desvios geométricos e vibrações.

Figura 19 – Mandriladora portátil



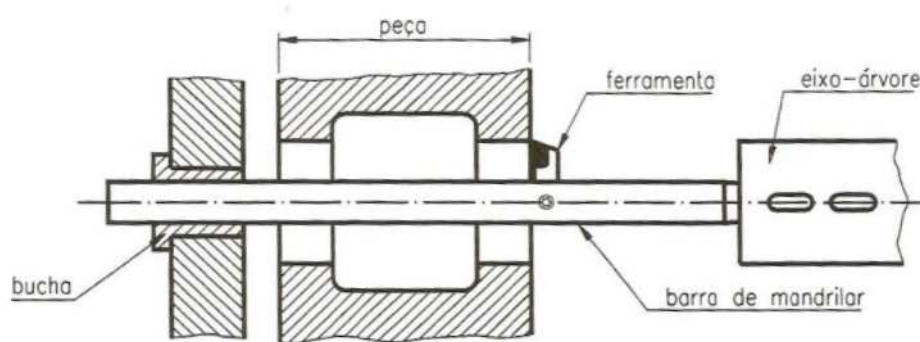
Fonte: Adaptado de Egepar (2022).

2.4.1 Ferramentas para Mandriladora

As ferramentas para a mandriladora são selecionadas em função das características do material a ser usinado, das operações que deverão ser realizadas e das dimensões (comprimento e diâmetro) da peça (Machado et al., 2009).

No geral a ferramenta apresenta pequenas dimensões porque trabalham no interior de furos, resultantes de processos de fundição ou de broqueamento. O material das ferramentas normalmente é de aço rápido ou metal duro e montadas na barra de mandrilar. Como descrito anteriormente, a barra de mandrilar deve ser rígida, cilíndrica, e ser bem posicionada no eixo arvore, e quando necessário e possível, utilizar bucha como mancais, evitando possíveis desvios e vibrações durante o processo como ilustrado na Figura 20 (FERRARESI, 1970).

Figura 20 – Barra de mandrilar com apoio de bucha



Fonte: Adaptado de Ferraresi (1970).

Genericamente o processo de usinagem possui as seguintes fases, aplicáveis tanto para tornos, fresadoras e mandriladoras. O primeiro processo a ser utilizado é o broqueamento, onde inicia-se um furo, que pode ser feito com broca helicoidal de aço rápido ou com pastilha intercambiável, Figura 21, dependendo do material da peça ou dimensão final do furo, que terá o diâmetro da broca usada. Tanto a broca de aço rápido como a com Inserto intercambiável possuem dispositivos de fixação adequados (ALMEIDA, 2015).

Figura 21 – (a) Broca helicoidal de aço rápido e (b) broca com insertos intercambiáveis



Fonte: Adaptado de Sandvik (2022).

A próxima etapa é o desbaste, onde o excesso de material é retirado, nesta etapa, a ferramenta possui baixa rotação, e parâmetros como o ap e Velocidade de Avanço (vf) elevadas, ocasionando altas Taxa de Remoção de Material (TRM), deixando uma pequena quantidade chamada sobre-metal para a fase posterior, a de acabamento (Machado et al., 2009).

As ferramentas de corte podem ser pastilhas intercambiáveis soldadas nos suportes que são devidamente presas por parafusos na barra de mandrilar ou presas em sistemas de cabeçotes. Nesta etapa os cavacos obtidos são grossos e a superfície da peça desbastada apresenta sulcos profundos. A Figura 22 mostra os tipos de ferramentas soldadas (ALMEIDA, 2015).

Figura 22 – (a) e (b) Ferramenta de metal duro soldada e (c) cabeçote inserto intercambiável



Fonte: Adaptado de Sandvik (2022).

Na fase de acabamento ocorre a remoção do sobremetal deixado na fase anterior, nesta etapa é conferido à peça as dimensões e parâmetros geométricos finais, com as devidas tolerâncias, especificadas no desenho técnico. Para que a peça apresente bom acabamento superficial, a ferramenta apresenta alta rotação, a ap e vf são baixas (ALMEIDA, 2015).

Para facilitar e agilizar o processo, diminuindo o tempo de troca de ferramentas, utiliza-se um sistema modular, exemplificado na Figura 23, em que disponibiliza conjuntos de ferramentas adaptáveis, com partes modulares intercambiáveis, ou seja várias ferramentas, com diferentes tamanhos e finalidades, utilizam de um mesmo sistema de fixação na máquina (cone morse, ISO e BT), permitindo assim a rápida troca de ferramentas entre operações (FERRARESI, 1970).

Figura 23 – Sistema modular



Fonte: Adaptado de Sandvik (2022).

Como mencionado anteriormente, um parâmetro de extrema relevância para a usinagem é a TRM, para maximizá-la a velocidade e o tempo do ciclo de produção por peça devem ser determinadas, para a usinagem existem três componentes de tempo que contribuem para o tempo total de produção:

- Tempo de manipulação da peça, onde o operador coloca a peça na máquina-ferramenta no início do ciclo de produção e a retira ao final da usinagem, pode ser considerado um tempo adicional para o reposicionamento da ferramenta;
- Tempo em que a ferramenta está efetivamente envolvida no processo de corte do metal durante o ciclo;
- Tempo de troca da ferramenta realizado ao final da vida da ferramenta, esse tempo deve ser distribuído pelo número de peças que são usinadas durante a vida da ferramenta (GROOVER, 2014).

2.5 Parâmetros para Usinagem

2.5.1 Movimentos

Como o objetivo de toda máquina-ferramenta é obter uma superfície linear, deve-se garantir a movimentação correta da ferramenta, aresta cortante com a peça, considerada estacionária. Podem-se distinguir dois tipos de movimentos, os de aproximação, que não retiram material e os de usinagem que causam a retirada de material, como ilustrado na Figura 24 (Machado et al., 2009).

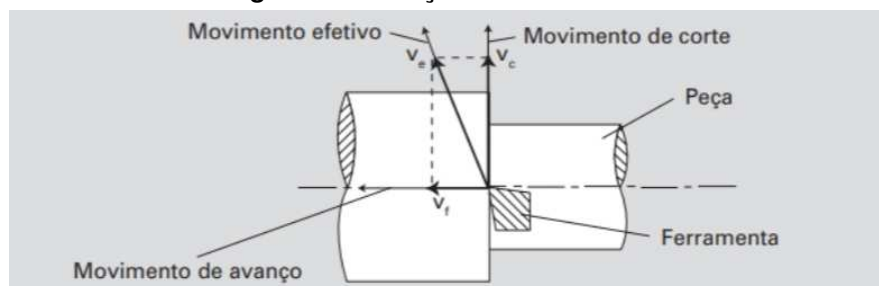
Nos movimentos que não promovem a retirada de material, são:

- Movimento de aproximação que é realizado entre a peça e a aresta de corte, onde ambas se aproximam antes da usinagem;
- Movimento de ajuste, realizado entre a peça e a aresta de corte para determinar a espessura de material a ser retirado;
- Movimento de correção, realizado entre a peça e a aresta de corte para corrigir o desgaste da ferramenta, ou outra variação como térmica;
- Movimento de recuo que é realizado entre a peça e a aresta de corte da ferramenta, afastando-a após a usinagem (Machado et al., 2009).

Os movimentos que causam a remoção de material pela usinagem são:

- Movimento de corte realizado entre a peça e a aresta de corte, o qual, na ausência de movimento de avanço, produz somente uma única retirada de cavaco;
- Movimento de avanço realizado entre a peça e a aresta de corte, com o movimento de corte, provoca a retirada contínua de cavaco;
- Movimento efetivo é o resultante dos movimentos de corte e avanço ao mesmo tempo (Machado et al., 2009).

Figura 24 – Direção dos movimentos



Fonte: Adaptado de Machado et al. (2009).

2.5.2 Velocidades

Para um processo com movimentos de rotação o primeiro parâmetro relevante é a Velocidade de Corte (vc), ela é a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante da ferramenta, segundo a direção e o sentido do corte, calculada pela Equação 1 (Machado et al., 2009):

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

onde:

vc = Velocidade de corte (m/min);

d = Diâmetro da peça ou da ferramenta (mm);

n = Numero de rotações por minuto (rpm)

A vf é a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante da ferramenta, segundo a direção e o sentido de avanço, é o quão rápido a ferramenta se desloca no sentido longitudinal em relação a rotação da peça. É dada pela Equação 2 (Machado et al., 2009):

$$vf = f \cdot n \quad (2)$$

onde:

vf = Velocidade de avanço (mm/min);

f = Avanço em milímetros por revolução (mm/rev);

n = numero de rotações por minuto (rpm)

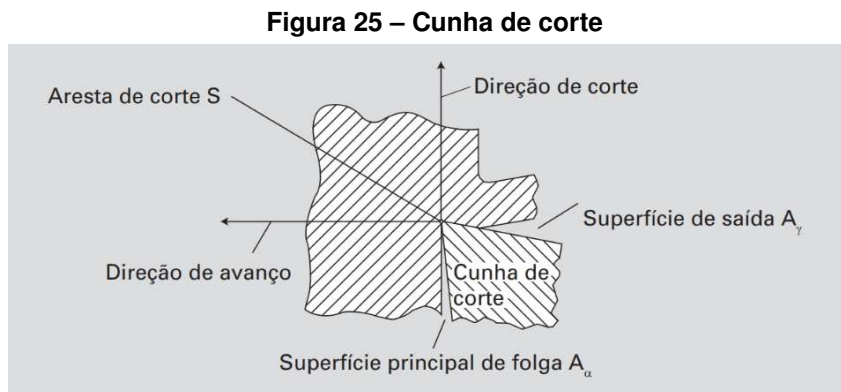
A Velocidade Efetiva de Corte (ve) é a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante da ferramenta, segundo a direção e o sentido efetivo do corte. É calculada vetorialmente como mostra a Equação 3 (Machado et al., 2009):

$$ve = vc + vf \quad (3)$$

A seleção mais adequada das velocidades de corte e de avanço irá depender da operação de usinagem, se desbaste, acabamento ou abertura de canais, do tipo da ferramenta, se de aço rápido ou carboneto de tungstênio e do material da peça. As velocidades de aproximação e recuo são relevantes para máquinas CNC, visto que valores elevados contribuem para a redução do tempo total de fabricação da peça (ROMI, 2022).

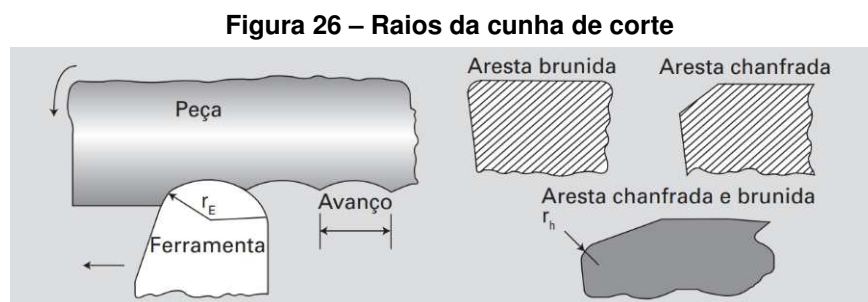
2.5.3 Geometria da Ferramenta

A geometria da ferramenta de corte exerce grande influência no processo e deve ser levada em consideração, de forma genérica, incertos para desbaste apresentam ângulos de cunhas maiores e incertos para acabamentos ângulos menores. A geometria da peça, suas tolerâncias, o material e a qualidade superficial desejada também definem a melhor opção a ser utilizada. A Figura 25 está representado o plano de trabalho de uma cunha de corte com as superfícies principal de folga e a superfície de saída (Machado et al., 2009).



Fonte: Adaptado de Machado et al. (2009).

Outras características geométricas da cunha de corte são o Raio da Ponta (r_e), demonstrado na Figura 26, que, com o ângulo da ponta, determina a resistência mecânica na ponta da ferramenta além de influenciar diretamente sobre a rugosidade da peça, em geral, o r_e varia de 0,2 mm a 2,4 mm. Analogamente o Raio de Cunha (r_h) tem a finalidade de proteger a cunha de corte, que, nunca deverá ser aguda, sob o risco de quebrar (Machado et al., 2009).

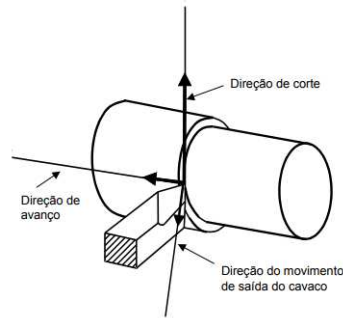


Fonte: Adaptado de Machado et al. (2009).

Algumas ferramentas podem apresentar na cunha de corte o quebra-cavacos, que é uma alteração na geometria da ferramenta cuja principal finalidade é provocar a fratura periódica do cavaco, sua seleção para uma determinada aplicação depende dos valores de avanço e de profundidade da usinagem, assim para operações de acabamento situam-se próximos à aresta de corte, enquanto para operações de desbaste estão mais afastados da aresta de corte (ALMEIDA, 2015).

A operação do mandrilador, apresentara o corte ortogonal, as direções de corte, avanço e do movimento de saída do cavaco para o torneamento cilíndrico são representadas na Figura 27 o corte é denominado tridimensional. O corte ortogonal faz uma simplificação do corte na qual as direções dos movimentos de corte, avanço e de saída do cavaco passem a fazer parte de um mesmo plano. (ALMEIDA, 2015).

Figura 27 – Representação do corte tridimensional



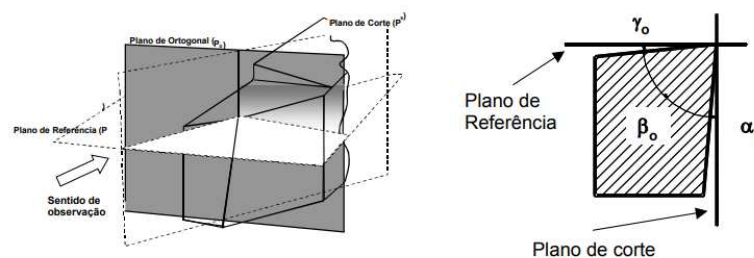
Fonte: Adaptado de Santos (2004).

No plano ortogonal da ferramenta são definidos três ângulos, que são:

- Ângulo de folga da ferramenta (α_o): ângulo entre a superfície de folga A e o plano de corte da ferramenta O_s , medido no plano ortogonal da ferramenta P_o .
- Ângulo de cunha da ferramenta (β_o): ângulo entre as superfícies de folga A e de saída A da ferramenta, medido no plano ortogonal da ferramenta P_o .
- Ângulo de saída da ferramenta (γ_o): ângulo entre a superfície de saída da ferramenta A e o plano de referência da ferramenta P_r , medido no plano ortogonal da ferramenta. (SANTOS, 2004).

A representação esquemática dos ângulos medidos no plano ortogonal da ferramenta é apresentada na Figura 28.

Figura 28 – Representação do corte tridimensional

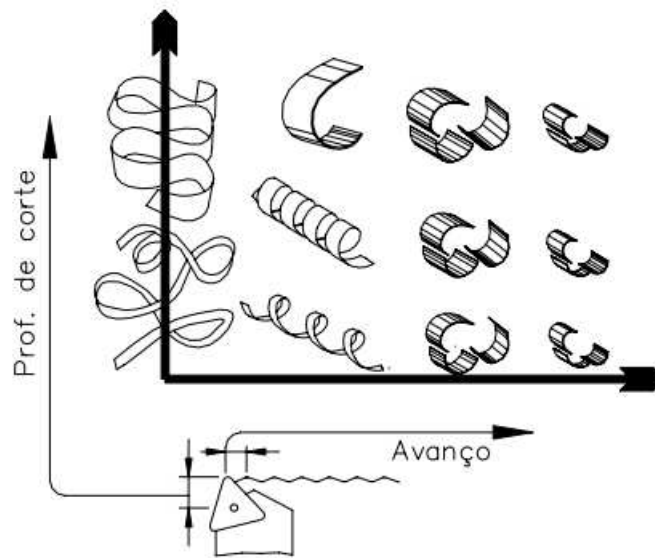


Fonte: Adaptado de Santos (2004).

2.5.4 Formação dos Cavacos

Uma forma de observar se os parâmetros da usinagem como a rotação, ap e v_f , estão corretos para determinado material, é analisando o formato dos cavacos gerados pelo processo, utilizando o diagrama da Figura 29, de maneira geral cavacos contínuos resultam da usinagem de materiais dúcteis, enquanto cavacos descontínuos são gerados durante a usinagem de materiais frágeis. Há várias vantagens nos cavacos curtos, sua quebra pode ocorrer durante a formação, como no caso da usinagem do bronze e de ferro fundido, ou pelo quebra-cavacos da ferramenta. Analisando as imagens a seguir, podemos classificar os tipos de cavacos com relação ao efeito do avanço e da profundidade da usinagem (Machado et al., 2009).

Figura 29 – Influencia dos parâmetros de usinagem na formação de favacos



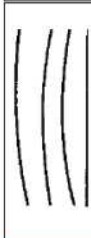






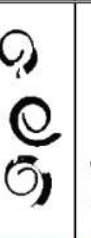


Fonte: Adaptado de Machado et al. (2009).

Ao que se refere a parâmetros de corte, com um aumento na velocidade de corte, redução do avanço, ou aumento no ângulo de saída, alteram diretamente a forma do cavaco, observa-se que o avanço é o parâmetro mais influente, seguido da profundidade de usinagem. Podem ser classificados de acordo com a Figura 30, onde os cavacos longos são os mais problemáticos, pois diminuem a produção e causam riscos a segurança dos operadores, exigindo cuidado especial e atenção ao seu controle, muitas vezes o método mais efetivo para solucionar este problema é a utilização do quebra-cavacos, por outro lado, cavacos muito curtos indicam deficiência em algum parâmetro de corte (Machado et al., 2009).

Como a formação do cavaco depende do tipo de material que está sendo usinado e das condições de corte da operação, podemos listar quatro tipos básicos de cavacos:

- Cavaco descontínuo é gerado a partir de materiais relativamente frágeis, onde são usinados em velocidades de corte baixas, os cavacos com frequência se formam em segmentos separados, o que tende a conferir textura irregular à superfície usinada, o processo apresenta elevado atrito cavaco-ferramenta, grande avanço e elevada profundidade de corte;
- Cavaco contínuo é formado a partir de materiais dúcteis em altas velocidades e com avanços e profundidades relativamente pequenos, obtém-se bom acabamento superficial quando esse tipo de cavaco é formado;
- Cavaco contínuo com Aresta Postiça de Corte (APC) surge quando se usina materiais dúcteis em baixas a médias velocidades de corte, o atrito entre a ferramenta e o cavaco propicia com que partes do material fiquem presas à superfície de saída da ferramenta em uma região próxima à aresta de corte. Conhecida como APC, onde sua formação é cíclica, ela se forma, aumenta até que se torne instável e se quebre. Grande parte da APC destacada é carregada com o cavaco, algumas vezes levando partes de superfície de saída da ferramenta com ela, o que reduz a vida da ferramenta de corte. As partes desprendidas da APC que não são transportadas com o cavaco ficam incorporadas à superfície usinada, fazendo com que a superfície se torne áspera;
- Cavacos segmentados são semicontínuos, pois eles possuem aparência de dente de serra, que é produzida por uma formação cíclica do cavaco que alterna elevada deformação por cisalhamento, seguida por baixa deformação por cisalhamento, esse tipo de cavaco é mais diretamente associado a certos metais difíceis de usinar, tais como ligas de titânio, superligas à base de níquel e aços inoxidáveis austeníticos, quando são usinados com velocidades de corte mais elevadas (GROOVER, 2014).

Figura 30 – Classificação dos cavacos

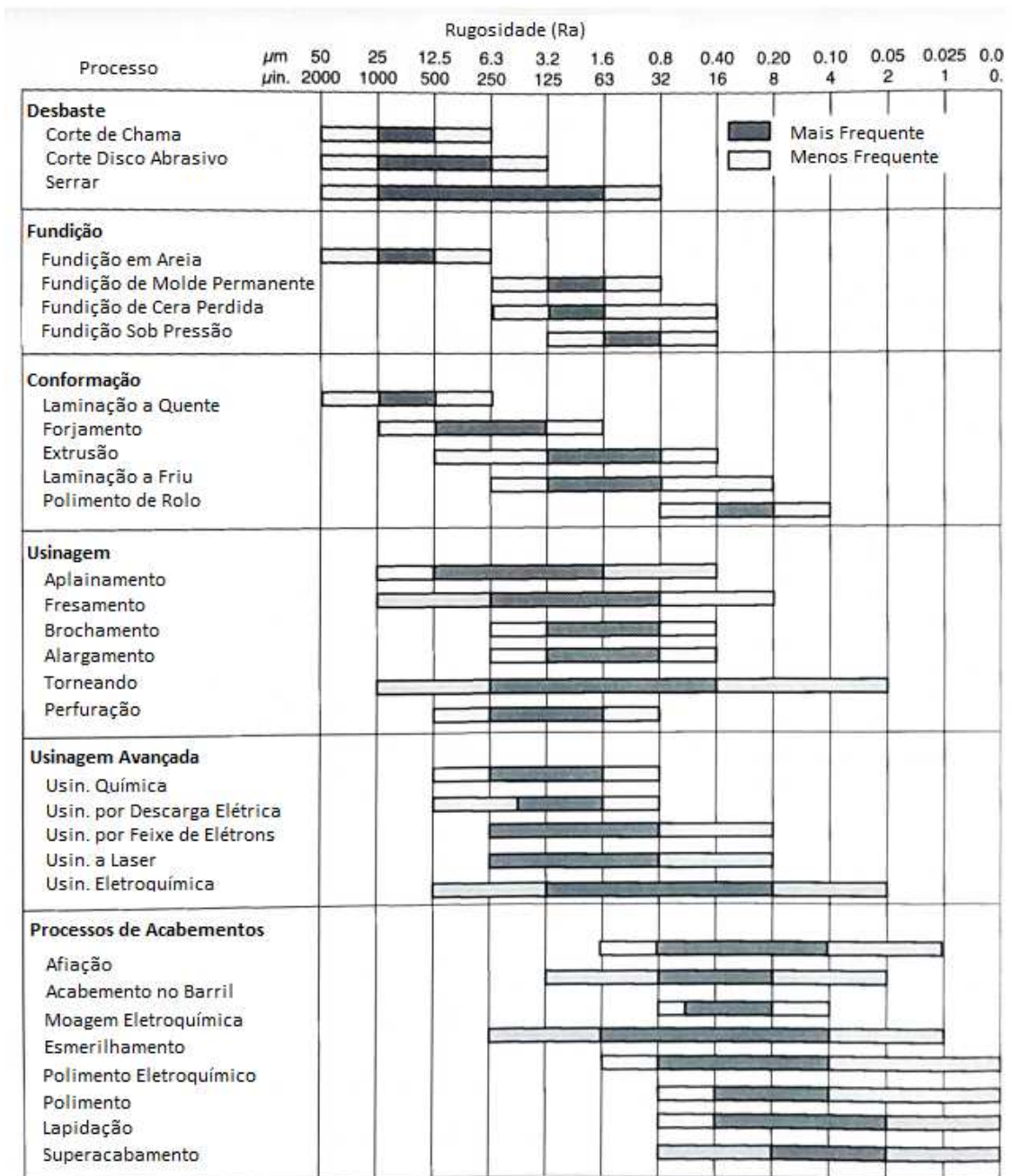
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FITA		HÉLICE					OUTROS		
FITA	EMARANHADO	HÉLICE PLANA	HÉLICE OBLÍQUA	HÉLICE LONGA	HÉLICE CURTA	HÉLICE ESPIRAL	ESPIRAL	VÍRGULA	ARRANCADOS
									
desfavorável		médio			favorável		médio		

Fonte: Adaptado de Machado et al. (2015).

2.5.5 Integridade Superficial

O acabamento superficial e precisão dimensional obtidos pelos diversos processos de fabricação, dependem de vários fatores, como as condições de rigidez da máquina-ferramenta, apresentando vibração ou trepidação, parâmetros de operação, geometria e material da peça e a habilidade do operador. Como resultado dessas características, surge uma ampla gama de acabamentos superficiais, que podem ser obtidas e são demonstradas através da Figura 31 (KALPAKJIAN; SCHMID, 2006).

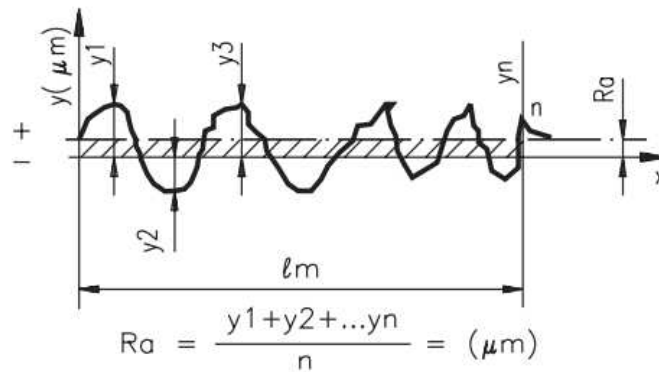
Figura 31 – Rugosidade de superfícies em diversos processos de fabricação



Fonte: Adaptado de Kalpakjian e Schmid (2006).

Um dos parâmetros de rugosidade mais utilizados é a Rugosidade Média (R_a), que é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento (y_i), dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, no espaço determinado para medição (l_m). Essa grandeza pode corresponder à altura de um retângulo, cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil de rugosidade e pela linha média, tendo por comprimento o percurso de medição (l_m). A Figura 32 demonstra como é obtida a R_a (JUSTINO, 2000).

Figura 32 – Rugosidade média



Fonte: Adaptado de Justino (2000).

O parâmetro R_a é necessário para o controle contínuo da rugosidade nas linhas de produção, para superfícies em que o acabamento apresenta sulcos de usinagem bem orientados como no caso de torneamento, fresagem ou mandrilagem, e superfícies de pouca responsabilidade, apenas para fins apenas estéticos. A norma NBR 8404/1984 de indicação do Estado de Superfícies em Desenhos Técnicos esclarece que a característica principal da rugosidade R_a , pode ser indicada pelos números da classe de rugosidade correspondente, Figura 33 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984).

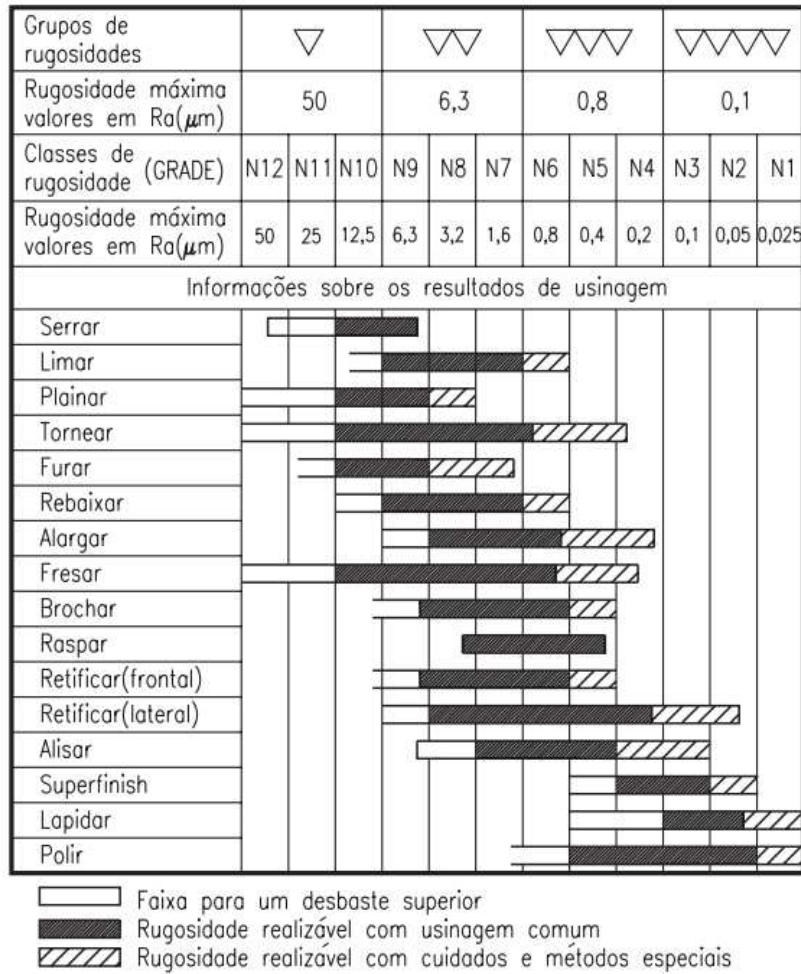
Figura 33 – Características da rugosidade

Classe de rugosidade	Desvio médio aritmético (R_a) μm
N 12	50
N 11	25
N 10	12,5
N 9	6,3
N 8	3,2
N 7	1,6
N 6	0,8
N 5	0,4
N 4	0,2
N 3	0,1
N 2	0,05
N 1	0,025

Fonte: Adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984).

A Figura 34, demonstra a simbologia com sua devida equivalência e apenas processos de usinagem, geralmente é encontradas nas indústria mecânica, classifica os acabamentos superficiais em 12 grupos, as organiza de acordo com o grau de rugosidade e o processo que pode ser obtido. Permite, também, visualizar uma relação entre a simbologia e os valores de Ra em milímetros (JUSTINO, 2000).

Figura 34 – Rugosidade de superfícies em processos de usinagem



Fonte: Adaptado de Justino (2000).

Para um processo de mandrilamento, que também pode ser considerado um processo de torneamento interno a classe da rugosidade superficial aceitável está, entre a N10 até a N7.

2.5.6 Fluidos de Corte

Nos processos de usinagem, são alcançadas altas temperaturas, devido ao atrito da peça com a ferramenta de corte e à energia para provocar a deformação do material. Esse calor produzido precisa ser dissipado para evitar o desgaste excessivo da ferramenta e não provocar a dilatação térmica da peça que poderá provocar erros em tolerâncias justas. Dessa forma, as principais funções do fluido de corte são a lubrificação a baixas velocidades de corte e refrigeração a altas velocidades de corte (Machado et al., 2009).

Uma característica importante e que é inversamente proporcional à temperatura é a viscosidade, quanto maior a temperatura do lubrificante, menor será a viscosidade, acarretando em um aumento na capacidade de escoamento. Pode-se definir viscosidade como uma medida da resistência oferecida por qualquer fluido ao escoamento do movimento, sendo uma das principais propriedades de um lubrificante, pois determina sua capacidade de suportar cargas. (ALMEIDA, 2015).

O efeito lubrificante do fluido de corte ocorre quando a operação de usinagem é realizada com baixa velocidade de corte, conseqüentemente a temperatura também é baixa, e por essa razão não é preciso refrigerar a peça nem a ferramenta. Nesse caso, o fluido de corte precisa ter características lubrificantes, diminuindo o atrito entre a ferramenta e o cavaco, reduzindo a força de corte, a potência necessária e facilitando a saída do cavaco, diminuindo o desgaste prematuro da ferramenta ou os defeitos na peça usinada (VALIM, 2018).

Os lubrificantes líquidos e as graxas são derivados de óleos básicos com compostos e aditivos, e podem ser classificados como compostos que são óleos ou gorduras de origem animal ou vegetal, que apresentam uma maior propriedade lubrificante. Já os aditivos, são produtos que conferem propriedades adicionais como detergentes, antioxidantes e melhoria na viscosidade (ALMEIDA, 2015).

Devida a variedade de máquinas e equipamentos a aplicação dos lubrificantes deve ser controlada para evitar desperdícios, assim sistemas de aplicação foram desenvolvidos, e basicamente poderá ocorrer de três maneiras, a primeira forma é intermitente ou restrita onde o óleo é aplicado com o uso de uma bomba de óleo, passando pela peça e retornando ao reservatório (aplicável para máquinas CNC). A segunda forma é por lubrificação contínua, onde componentes mecânicos sujeitos ao desgaste ficam parcialmente submersos no óleo lubrificante (mancais de deslizamento, cambio de automóveis etc) (ALMEIDA, 2015).

A terceira é a aplicação manual, pode ser por meio de um borrifador (almotolia com lubrificante aditivo) ou com uso de um pincel de cerda (com lubrificante de origem animal ou vegetal), utilizada para operações de rosqueamento, em alguns processos de usinagem que apresentam velocidades de corte baixas e nas quais o atrito é um problema, em geral, não é um método de aplicação utilizado pela maioria das oficinas de usinagem em razão de sua variabilidade na aplicação e requisitos de segurança (GROOVER, 2014).

Já para que o fluido de corte tenha um efeito refrigerante, ele precisa evitar que a ferramenta e a peça atinjam temperaturas elevadas, assim seu objetivo é de absorver o calor e o dissipar. Sua eficiência diminui com o aumento da velocidade e profundidade de corte. Os fluidos de corte refrigerantes devem apresentar baixa viscosidade, pois assim eles não ficarão aderentes na peça, ter um elevado calor específico, propriedade que possibilita a absorção de calor sem o aumento de temperatura e alta condutividade térmica, para absorver o calor gerado. Quando há uma correta utilização do fluido de corte tanto o lubrificante como o refrigerante, ele contribui para diminuir os custos de fabricação, segundo (VALIM, 2018), apresentam os seguintes benefícios:

- Aumento da Produção;
- Aumento da vida da ferramenta;
- Redução das forças e potência de usinagem;
- Melhoria do acabamento da peça;
- Facilidade de remoção dos cavacos da região de corte;
- Redução do risco de distorção térmica da peça;
- Melhores acabamentos superficiais;
- Possibilidade de conseguir tolerâncias mais justas (VALIM, 2018).

A severidade das operações de usinagem varia desde a retificação mais leve até os mais pesados cortes de brochamento. A seleção do fluido de corte pode, portanto, variar desde as emulsões de baixa concentração (altamente refrigerantes) até os mais ativos tipos de óleo integral predominantemente lubrificantes. A imagem a seguir apresenta uma classificação das principais operações de usinagem em relação à sua severidade. (FERRARESI, 1970)

Os fluidos de corte podem ser classificados como líquidos, gasosos e sólidos, contudo, os mais utilizados são os fluidos na forma líquida, classificados como óleo, emulsões e soluções. (VALIM, 2018).

Os primeiros óleos utilizados foram de origem animal ou vegetal, os óleos graxos, eles possuem boa propriedade lubrificante, mas não são bons refrigerantes, além disso, apresentam rápida deterioração, são usados como aditivos nos fluidos de origem mineral, a fim de melhorar sua propriedade lubrificante. Já os óleos minerais são obtidos através do refino do petróleo, por serem hidrocarbonetos, suas propriedades dependem do comprimento de suas cadeias carbônicas, sua utilização é comum na usinagem de aço baixo carbono, latão, bronze e ligas leve. E os óleos integrais são óleos minerais basicamente puros ou com aditivos à base de cloro, enxofre e fósforo, que permitem que esse tipo de óleo seja submetido à pressões elevadas.

Devido ao seu alto custo, baixo ponto de fulgor e por ser prejudicial à saúde, a utilização do óleo integral na usinagem vem sendo substituída pela aplicação de emulsões. (VALIM, 2018).

As emulsões são basicamente de óleos minerais e água, além de agentes emulsificantes ou surfactantes. Os fluidos emulsionáveis apresentam em sua composição óleo de origem animal ou vegetal ou, ainda, Aditivos de Extrema Pressão (EP) para melhorar sua propriedade de lubrificação. Para inibir o efeito corrosivo da água, empregam-se aditivos anticorrosivos, como o nitrito de sódio. As emulsões são utilizadas em operações de usinagem que necessitam de refrigeração da ferramenta e/ou da peça, não sendo recomendada em operações com baixa velocidade de corte. Os fluidos semissintéticos são caracterizados por apresentar de 5 a 50 % de óleos minerais e aditivos químicos compostos (emulsificantes), que dissolvem na água formando moléculas individuais. (FERRARESI, 1970)

E as soluções também conhecidas como fluidos sintéticos são compostas de água e óleo, além de sais orgânicos e inorgânicos, e inibidores de corrosão, sem a presença de emulsificantes e óleo mineral, pois o óleo reage quimicamente com água, dissolvendo completamente e formando uma única fase. Os fluidos sintéticos mais comuns são usados como refrigerantes e apresentam proteção anticorrosiva; já os fluidos sintéticos mais complexos, além de bom efeito refrigerante, também apresentam características lubrificantes. (Machado et al., 2015)

2.6 Normas de Segurança

A Norma Regulamentadora (NR) 12 define as referências técnicas, os princípios fundamentais e as medidas de proteção visando garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores, estabelece procedimentos e fluxos de trabalho nas etapas de operação e manutenção de máquinas, treinamento de todos os envolvidos, e a projeção e instalação de sistemas de segurança, tais como proteções físicas fixas ou móveis, dispositivos para monitoramento, acionamento e mecânicos, todos instalados de forma redundante. É aplicada em qualquer empresa que possua máquinas, equipamentos ou mecanismos utilizados nos processos de produção que apresentem riscos ao trabalhador. Os principais itens relevantes para este trabalho serão descritos a seguir. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019)

2.6.1 Princípios Gerais

De forma geral a NR 12 estabelece medidas consideradas de proteção e devem ser adotadas, as principais medidas estão relacionadas a proteção coletiva da equipe de trabalho, medidas administrativas ou de organização de trabalho e as medidas de proteção individual. É estabelecido que deve ser adotadas pela empresa, sistemas de segurança nas zonas de perigo da máquina e do processo de trabalho, já por parte dos colaboradores cumprir todas as orientações relativas aos procedimentos seguros de operação, não realizar qualquer tipo de alteração

nas proteções das máquinas, comunicar seu superior imediato se uma proteção ou dispositivo de segurança foi removido e participar dos treinamentos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019).

2.6.2 Instalações e Dispositivos Elétricos

Para os condutores de alimentação elétrica, estabeleceu-se alguns critérios mínimos de segurança como, oferecer resistência mecânica compatível com a sua utilização possuindo proteção contra a possibilidade de rompimento mecânico, localização de forma que nenhum segmento fique em contato, não dificultar a locomoção das pessoas e materiais e devem ser constituídos de materiais que não propaguem o fogo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019).

Com isso são proibidos em máquinas e equipamentos, a utilização de chave geral como dispositivo de partida e parada, a utilização de chaves tipo faca nos circuitos elétricos e a existência de partes energizadas expostas de circuitos que utilizam energia elétrica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019).

2.6.3 Dispositivos de Partida, Acionamento e Parada

Os dispositivos de partida, acionamento e parada das máquinas devem ser projetados, selecionados e instalados de forma a não se localizem em suas zonas perigosas da máquina ou equipamento, possam ser acionados ou desligados em caso de emergência por outra pessoa que não seja o operador, devem impedir acionamento ou desligamento involuntário pelo operador ou por qualquer outra forma acidental e deve dificultar-se a burla (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019).

2.6.4 Sistemas de Segurança

As regiões da máquina ou equipamento que apresentem perigo eminente, devem possuir sistemas de segurança, como proteções fixas ou móveis, e quando necessário dispor de dispositivos de segurança interligados, para garantir à saúde e à integridade física dos trabalhadores. Os requisitos de segurança que deve ser atendidos pelas proteções, são:

- Cumprir sua função durante a vida útil da máquina, sempre possibilitando a reposição de partes danificadas;
- Ser constituídas de materiais resistentes;
- Não criar pontos de esmagamento ou agarramento;
- Não possuir extremidades e arestas cortantes;

- Resistir às condições ambientais do local onde estão instaladas;
- Impedir a burla;
- Proporcionar condições de higiene e limpeza;
- Impedir o acesso à zona de perigo;
- Ter seus dispositivos de intertravamento protegidos adequadamente contra sujidade, poeiras e corrosão, se necessário;
- Não acarretar riscos adicionais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019).

2.6.5 Dispositivos de Parada de Emergência.

As máquinas devem ser equipadas com um ou mais dispositivos de parada de emergência, por meio dos quais possam ser evitadas situações de perigo, e os dispositivos de parada de emergência não devem ser utilizados como dispositivos de partida ou de acionamento, com isso é estabelecido que os dispositivos de parada de emergência devem, ser selecionados, montados e interconectados de forma a suportar as condições de operação previstas, usados como medida auxiliar, possuir acionadores projetados para fácil atuação do operador, prevalecer sobre todos os outros comandos, provocar a parada da operação e ter sua função disponível e operacional a qualquer tempo, independentemente do modo de operação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019).

3 METODOLOGIA

Tendo em vista que os objetivos deste trabalho dizem respeito ao desenvolvimento e fabricação de um protótipo de mandriladora portátil, a concepção da ideia inicial é baseada nas necessidades específicas do mercado. Assim, as atividades desenvolvidas foram divididas em duas etapas: a primeira é o projeto, onde deve-se detalhar o protótipo através de modelos em três dimensões, definindo seu design, e a segunda etapa é a fabricação, acompanhada dos testes do equipamento. Como o mandrilador será de uso exclusivo da empresa, não será necessário aplicar estratégias de marketing para sua comercialização.

Assim, define-se que a mandriladora portátil será composta por um motorreductor que transmitirá o torque necessário para a barra de mandrilar; neste estará fixada a ferramenta de corte que realizará a usinagem da peça. Para que haja o deslocamento da ferramenta, em uma extremidade da barra de mandrilar é fixado um fuso que realiza o movimento de avanço e retorno na barra.

Os procedimentos, materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento e fabricação do protótipo serão apresentados a seguir. Alguns componentes foram fornecidos por uma empresa parceira na realização deste trabalho e outros deverão ser fabricados por meio de processos de manufatura (usinagem e soldagem), utilizando a infraestrutura fornecida pela empresa.

3.1 Materiais e Equipamentos

Para que a construção da mandriladora portátil seja economicamente viável, de fácil e rápida construção, foi desenvolvido um modelo em 3D no software Solidworks - Figura 35, para uma melhor visualização da ideia, ajudando a identificar pontos fracos antes da execução do equipamento.

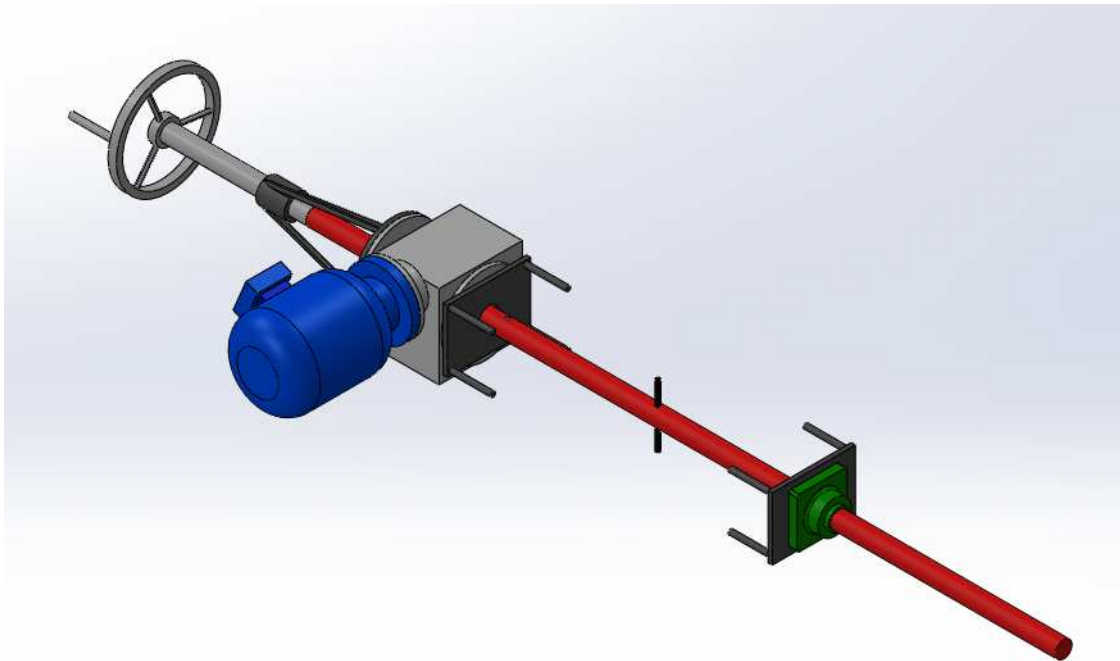
Através deste primeiro desenho, pode-se retirar importantes informações sobre a montagem dos componentes e de como o equipamento deve ser instalado na peça a ser usinada.

Como mencionado anteriormente, algumas peças podem ser adquiridas prontas e foram disponibilizadas pela empresa parceira. O principal componente do projeto é um motorreductor. O segundo componente crucial do equipamento é a barra de mandrilar, que deve suportar as tensões causadas pelo momento torçor gerado pela ferramenta de corte durante o processo. Quanto maior o diâmetro da barra, maior será sua resistência a torção.

Outro componente que pode ser facilmente encontrado no mercado, e que será disponibilizado pela empresa parceira no projeto, será os mancais tipo flange com unidade autocompensadora.

Como será utilizado um motor elétrico para o desenvolvimento do protótipo, é de extrema importância o uso de um quadro de comando elétrico, com disjuntores, reles, botão de emer-

Figura 35 – Modelo em 3D do mandrilador



Fonte: Autor (2023).

gência e botão de acionamento, realizando assim a proteção do sistema contra sobrecargas e para a proteção do operador contra o risco de choques elétricos.

O sistema de avanço da barra de mandrilar é composto pelo conjunto fuso com porca, e pelas ferramentas de corte, que mesmo sendo encontradas comercialmente precisam de alterações para serem presas na barra de mandrilar, devido a sua dimensão reduzida.

Todas as barras de aço, circular ou quadradas, chapas, tubos e elementos de fixação para a construção do protótipo foram disponibilizadas pela empresa.

Para a fabricação destes componentes foi necessária a utilização de um torno mecânico para o fuso e a porca, de uma fresadora para a usinagem de um canal de chaveira na barra de mandrilar, furadeira de coluna para furação da barra de mandrilar e dos flanges, uma serra para o corte das barras, além de um equipamento para a soldagem dos flanges na peça base.

As máquinas disponibilizadas para as tarefas foram um torno mecânico horizontal da marca Nardini, modelo Nodus 325, fresadora mecânica horizontal da marca Vigorelli , modelo FU33, uma furadeira radial Yadoy modelo GM 07045 e equipamento de soldagem MIG/MAG da ESAB, todos demonstrados na Figura 36.

Figura 36 – Equipamentos utilizados para a fabricação do protótipo: (a) furadeira radial; (b) fresadora horizontal; (c) torno mecânico.



Fonte: Autor (2023).

3.2 Utilização do Protótipo

Como descrito nos objetivos deste trabalho, o equipamento foi desenvolvido para realizar a usinagem de furos em componentes que apresentam dimensões elevadas, tornando o processo de usinagem convencional onerosa e perigosa, e conseguindo manter os critérios de cilindricidade, circularidade e integridade superficial aceitáveis, entre elas a rugosidade, em peças ou componentes de grandes dimensões para máquinas de diversos segmentos.

A instalação na peça base é de simples operação, possibilitando assim que a correção possa ser realizada em peças de média e grandes dimensões, e não há necessidade de um desmonte total do equipamento a ser reparado, reduzindo o tempo da manutenção.

O equipamento é ideal para ser utilizado na recuperação das articulações de máquinas da linha pesada, como demonstrado nas Figuras 37 e 38, como retroescavadeiras, tratores de esteira, escavadeiras hidráulicas ou para máquinas industriais de grande porte, entre outros do gênero.

Figura 37 – Articulação de uma escavadeira hidráulica



Fonte: Adaptado de Caterpillar (2023).

Figura 38 – Articulação de uma carregadeira hidráulica



Fonte: Adaptado de Caterpillar (2023).

4 PROJETO PRELIMINAR

Com base no referencial teórico apresentado, sabe-se que o PDP é estruturado por um conjunto de relações diretas e indiretas. Essas relações exigem que os dados de entrada devam ser estabelecidos para então gerar os dados de saída do produto. (Rozenfeld et al., 2006)

No presente trabalho, que está centrado na macro fase do desenvolvimento, os dados de entrada são provenientes de vários fatores, dentre eles as limitações apresentadas pelos equipamentos existentes que tornam o processo de usinagem inviável, a necessidade de realizar a usinagem em locais específicos e conhecimento técnico adquirido através de instituições de ensino e experiências práticas no mercado de trabalho. Por meio da ferramenta de Desdobramento da Função Qualidade (QFD), foram determinados os valores-meta que o protótipo deve apresentar para que os requisitos do equipamento sejam atendidos (Tabela 1):

Tabela 1 – Especificações metas do protótipo

Requisitos	Especificações	Importancia
Fácil Instalação e Manuseio	Sistema Portátil, peso inferior a 100 Kg	Muito Relevante
Potência (Torque)	Motor Elétrico	Relevante
Adequação da Velocidade	Uso de Redutor Adequado e Robusto	Relevante
Suportar a Torção e Flexão	Barra de Mandrilar de Aço Adequado	Muito Relevante
Aresta de Corte Eficiente	Ferramenta de Corte de Carbetto de Tungstênio	Muito Relevante
Avanço Preciso	Fuso e Porca com Rosca Fina, sem Folgas	Relevante
Fixação Rígida	Mancais para Apoio Adequados	Relevante
Qualidade na Usinagem	Cilíndricas, Concêntricas e Rugosidade Baixa	Muito Relevante
Sistema de Lubrificação	Facilitar a Remoção do Cavaco	Relevante
Controle e Segurança	Uso de Painel Elétrico	Relevante

Fonte: Autoria própria (2023).

Com isso, o projeto preliminar proposto inicia-se pelo motorreductor. Este dispositivo será o responsável pelo torque fornecido à ferramenta para a realização da usinagem, assim como a velocidade de rotação da mesma e a velocidade de corte. O sistema deverá fornecer uma potência de eixo mínima e uma redução de velocidade aceitável para que o processo de usinagem seja possível.

A barra de mandrilar foi confeccionada de aço trefilado com diâmetro igual ao do cubo do motorreductor determinado. A barra deve apresentar tolerância h10, permitindo que haja movimento linear entre a barra e o motorreductor. Deve-se usinar um canal de chaveta em uma extremidade, e este canal deve ser compatível com o apresentado no cubo do motorreductor e com comprimento mínimo equivalente ao comprimento do fuso acrescido o do cubo do motorreductor.

A chaveta deverá ser fixada por solda ou parafusos no cubo do motorreductor, impedindo que se desloque quando a barra realizar movimentos lineares. Na mesma extremidade do canal de chaveta, deve ser feito um furo no eixo de centro para o encaixe do fuso. Deverão ser

efetuados furos perpendiculares ao eixo de centro e em pontos determinados da barra para a fixação da ferramenta.

O sistema de avanço, composto pelo fuso e porca, deve apresentar uma rosca com passo fino, possibilitando um melhor controle para o movimento de avanço da ferramenta. Para que não exista folga neste sistema, a porca deve ter um corte parcial em uma de suas extremidades, nesse corte deve ter um parafuso, que ao ser apertado, ajusta os filetes da porca nos filetes do fuso. Na ponta do fuso deverá ser fixado um parafuso que fará a ligação com a barra de mandrilar, permitindo assim o movimento linear nos dois sentidos (avanço e retorno). A porca será presa a um flange que, por sua vez, estará preso no motorreductor.

Como todo o sistema será fixado por solda na peça a ser usinada, um flange deve ser parafusado no motorreductor e depois soldado à peça. Para que a barra de mandrilar não trabalhe em balanço, em sua outra extremidade será usado o mancal de rolamentos, parafusado em um flange que, por sua vez, será preso por solda na peça base. Para o correto alinhamento dos eixos de centro deve-se usar um sistema de buchas cilíndricas ou cônicas, alinhando o centro de giro da barra de mandrilar com o centro do furo existente.

Para que todo o sistema seja fixado na posição correta, mantendo o alinhamento original, é utilizado um sistema de buchas cônicas que posiciona o eixo de centro da barra de mandrilar com o eixo de centro dos furos que se deseja usinar.

Para a fixação da ferramenta de corte na barra de mandrilar, deve-se primeiro determinar qual o curso do deslocamento, ou seja, qual é o comprimento do material que será usinado. Assim, conhecendo-se essa distância, pode ser realizado um furo na barra de mandrilar onde será introduzida a ferramenta e fixada com o uso de um parafuso. Esse método permite que se usine furos com diâmetros próximos ao da barra de mandrilar. Para diâmetros maiores, (acima de 100 mm), utiliza-se um suporte que é preso na barra. Para que a ferramenta realize o movimento de avanço, é utilizado outro parafuso que se desloca para frente aumentando a profundidade de corte.

A ferramenta é composta por uma base de aço carbono que em sua extremidade é soldada um inserto de tungstênio. A soldagem é realizada através do processo de solda Oxia-cetilênica.

5 FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO

Na etapa de fabricação do protótipo utilizou-se uma grande parcela do tempo para o desenvolvimento do projeto, analisando as melhores opções de como unir todos os sub-sistemas em um equipamento. Apesar de não serem tarefas complexas, necessitam de tempo para sua conclusão.

Deve-se ficar claro que o protótipo apresenta as sub-montagens necessárias para o seu perfeito funcionamento e utilização prática. Muitos destes itens que compõem os subsistemas não foram fabricados, e sim adaptados de produtos já existentes no mercado. A seguir são apresentadas informações de todo o processo de fabricação do produto.

5.1 Aquisição de Materiais

Com a finalidade de fabricar um protótipo funcional que atenda aos requisitos exigidos, foi elaborada uma lista de itens que precisaram ser adquiridos para suprir a necessidade de fabricação. Esta lista foi desenvolvida para discutir a real necessidade de aquisição dos itens, sempre analisando sua funcionalidade e os benefícios que serão agregados ao produto final.

Os itens serão classificados em ordem de valores absolutos, para que sejam adquiridos primeiramente os de maior relevância para o sistema, precavendo-se assim da falta de um componente importante devido a inexistência de recursos financeiros.

A primeira lista (Tabela 2), relaciona os itens comerciais que suprem os requisitos do produto. O principal deles é o subconjunto do motorreductor, que mesmo sendo fornecido pela empresa, deve ser considerado como um item a ser adquirido, uma vez que representa um custo para a empresa.

Tabela 2 – Componentes comerciais adquiridos

Item	Especificações	Quantidade
01	Motorreductor	01
02	Quadro Comando Elétrico	01
03	Rolamentos Y (de Inserção)	01
04	Mancais tipo Flange	01
05	Parafuso M12x30 10.9	08
06	Parafuso M12x50 10.9	04
07	Porca Sextavada M12	04
08	Parafuso Allen M16X60 12.9	01
09	Parafuso Allen sem Cabeça M8X20 12.9	04
10	Parafuso Allen sem Cabeça M10X20 12.9	02
11	Manipulo Volante	01
12	Desengripante Aerossol	01

Fonte: Autoria própria (2023).

Para o motorreductor, como havia um equipamento disponível em estoque, e que atende a alguns critérios como baixo peso, rotação de saída apropriada e diâmetro de cubo aceitável, utilizou-se o fornecido pela empresa, Figura 39. O subconjunto é composto por um motor elétrico da fabricante Siemens, que apresenta uma potência de 3000 W (5 cv) a uma rotação de 1800 rpm. Acoplado a ele está o redutor de velocidades, modelo SEW-EURODRIVE (utilizando sistema de coroa e rosca sem fim), com uma redução de 1/40, e com o cubo de 40 mm. O acoplamento do sistema é direto, ou seja, o eixo do motor é acoplado diretamente no eixo da rosca sem fim, permitindo assim um sistema mais compacto, seguro e sem perdas.

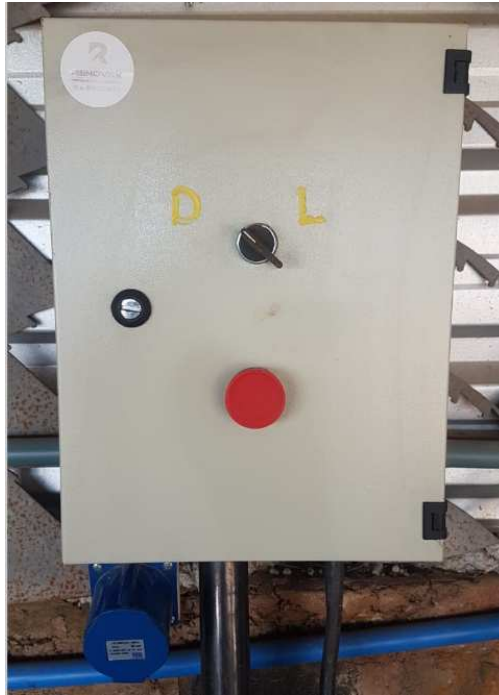
Figura 39 – Subconjunto motorreductor



Fonte: Autor (2023).

O quadro do comando elétrico, Figura 40, foi adquirido para atender a requisitos de segurança, para o operador e para o equipamento. Tais requisitos envolvem o desligamento total do equipamento para que se possa posicionar e ajustar a ferramenta de corte, parada de emergência caso haja qualquer problema, controlador de velocidade com a utilização de um inversor de frequência e dispositivos para proteção de sobrecargas.

Figura 40 – Quadro do comando elétrico



Fonte: Autor (2023).

O subconjunto para a partida direta com reversão é composto por:

- Chave seccionadora liga horário/desliga/liga anti-horário;
- Lampada sinalizadora para indicação de ligado;
- Botão de emergência;
- 2 Contatos auxiliares NF;
- Disjuntor Motor trifásico;
- Disjuntor Monofásico;
- Chave contatora trifásica;
- Inversor de Frequência;
- Cabos e plugues para ligação do sistema na rede elétrica;

No que diz respeito a escolha do rolamento, e conhecendo-se o diâmetro da barra de mandrilar, buscou-se por um produto simples e de fácil aquisição. Com isso, o rolamento de inserção em conjunto com o mancal tipo flange, Figura 41, mostrou ser o mais apropriado, pois facilita a instalação do sistema na peça base, que em virtude de sua fixação na peça base ser pelo processo de soldagem, pode ocorrer pequenos desalinhamentos entre o eixo de centro do rolamento com a base do mancal, como demonstrado na Figura 42. Com isso, o rolamento se

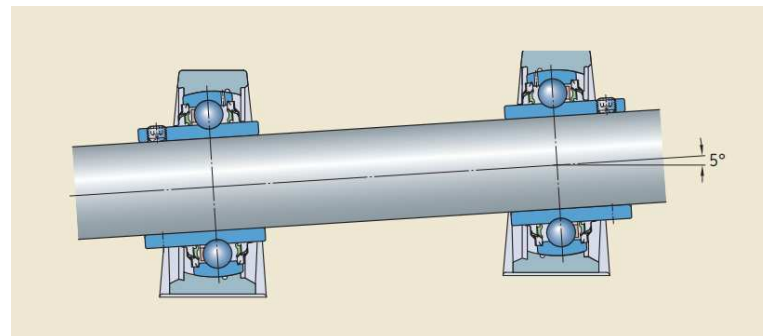
ajusta na base do mancal, sem prejudicar seu desempenho e mantendo o alinhamento da barra de mandrilar com o furo da peça base a ser usinada, além de possuir sistemas de lubrificação e blindagem resistentes.

Figura 41 – Rolamento de inserção com mancal tipo flange



Fonte: Autor (2023).

Figura 42 – Desalinhamento máximo suportado pelo rolamento



Fonte: Adaptado de Grupo SKF (2015).

Os demais itens (parafusos, porcas e arruelas) foram obtidos na empresa que, por serem materiais de consumo utilizados em suas atividades, encontram-se no seu estoque.

O protótipo foi inteiramente desenvolvido nas dependências da empresa que contém as máquinas e os equipamentos necessários para sua fabricação. Entretanto, uma lista de materiais de consumo (Tabela 3) foi elaborada para que não fossem utilizados itens necessários em outros processos produtivos da empresa, uma vez que o protótipo foi desenvolvido durante horário de expediente da mesma. A quantidade dos itens foi baseada na experiência do autor.

Com isso, conhecendo todos os componentes comerciais e ferramentas necessárias para a fabricação do protótipo, são descritos na Tabela 4 todos os materiais de consumo utilizados no projeto.

Com a etapa da aquisição de todos os componentes comerciais e materiais necessários finalizada, inicia-se a etapa de fabricação dos demais componentes e a montagem do protótipo.

Tabela 3 – Materiais usados na fabricação

Item	Especificações	Quantidade
01	Broca Aço Rápido 20 mm	01
02	Broca Aço Rápido 5 mm	01
03	Broca Aço Rápido 10 mm	01
04	Broca Aço Rápido 8,5 mm	01
05	Broca Aço Rápido 13 mm	01
06	Broca Aço Rápido 14 mm	01
07	Broca Aço Rápido 30 mm	01
08	Broca de Centro 10 mm	01
09	Macho para Roscar 6 mm	03
10	Macho para Roscar 10 mm	03
11	Macho para Roscar 14 mm	03
12	Disco de Corte 4 1/2	10
13	Disco Flap de Fibra 4 1/2	05
14	Arrame para Soldagem MAG	..
15	Inserto intercambiável para Desbaste/Acabamento TNMG	02
16	Inserto intercambiável para Rosca Externa 60° Zcc	01
16	Inserto intercambiável para Rosca Interna 60° Zcc	01
17	Fresa Circular 10 mm	01
18	Paquímetro Analógico 200 mm	01
19	Paquímetro Digital 200 mm	01
20	Pente de Rosca	01

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 4 – Materiais de consumo

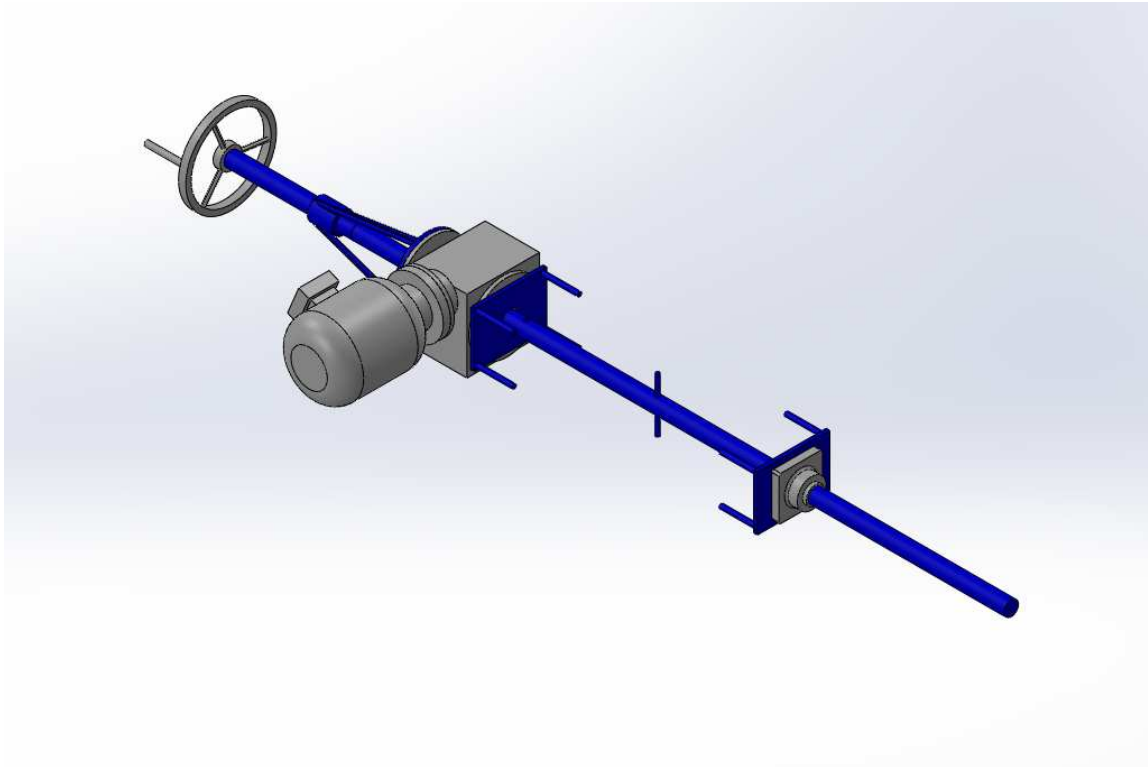
Item	Especificações	Quantidade
01	Barra Laminada 40 mm, Aço SAE 1045	2 m
02	Barra 3/4 pol, Aço SAE 1045	1,5 m
03	Barra Trefilada 10 mm, Aço SAE 1045	0,4 m
04	Chapa 3/8 pol, Aço SAE 1020	0,5 m ²
05	Barra 1 1/2 pol, Aço SAE 1060	0,35 m
06	Barra 2 1/2 pol, Aço SAE 1060	0,1 m
07	Barra 1/2 pol, Aço SAE 1045	1 m
08	Tubo Retangular 40x20 mm, Aço SAE 1020	3 m
09	Barra Quadrada 10 mm, Aço SAE 1020	0,15 m
10	Barra Bronze TM 620	0,02 m
11	Barra Laminada, 5 pol, Aço SAE 1045	0,25 m

Fonte: Autoria própria (2023).

5.2 Fabricação dos Componentes

Dos elementos que compõem o protótipo, sete foram fabricados. Sua fabricação fez-se necessária para que se pudesse atender aos requisitos essenciais do projeto. A Figura 43 ilustra os componentes comerciais em cinza e os fabricados em azul.

Figura 43 – Diferenciação componentes comerciais e fabricados



Fonte: Autor (2023).

A execução de fabricação dos itens foi realizada de maneira ordenada, e conforme os componentes eram fabricados, já eram acoplados ao conjunto. Assim pode-se desenvolver um roteiro de fabricação, como demonstrado na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 – Sequência de fabricação dos componentes

Ordem de Fabricação	Especificações	Quantidade
01	Chaveta Retangular	1
02	Barra de Mandrilar	1
03	Fuso	1
04	Porca	1
05	Flange	3
06	Ferramenta de Corte	2
07	Buchas Cônicas	2

Fonte: Autoria própria (2023).

Para que o processo de fabricação possa ser realizado, deve ser analisadas algumas questões como: formato do blank, processos de usinagem que devem ser aplicados, sequências das operações de usinagem, e tolerâncias dimensionais que devem ser atendidas.

As respostas destas questões são apresentadas na sequência, com a descrição das operações que devem ser realizadas em cada componente. Todo item tem seu desenho técnico com todas as dimensões necessárias para sua fabricação, além de informações adicionais,

como dimensão de blank, quantidades, entre outras. Os desenhos técnicos seguem em anexo no apêndice A.

O primeiro item a ser fabricado é a chaveta, utilizando um barra de aço quadrada. Inicialmente foi cortada no comprimento correto com o uso de uma serra fita e em seguida usinadas as laterais para adequação das dimensões, estabelecidas pelo canal existente no cubo do motorreductor. Essa usinagem pode ser realizada em um torno mecânico, como demonstrada na Figura 44.

Figura 44 – Usinagem da chaveta



Fonte: Autor (2023).

Para que a usinagem possa ocorrer, a barra de mandrilar deve suportar as tensões de torção e flexão geradas pela ferramenta. Como seu diâmetro é definido pelo cubo do redutor, deve-se definir apenas qual o melhor material para sua confecção. Porém, a força que a ferramenta exerce sobre o material é algo complexo para se mensurar, mas segundo (Coppini et al., 2014), pode ser expressa pela seguinte expressão:

$$F_c = K_s \cdot A \quad (4)$$

Onde:

K_s = Pressão Específica de corte.

A = Área da seção de corte.

Para o cálculo da área da seção, deve-se multiplicar os parâmetros da profundidade de corte com o avanço da ferramenta. Porém, para determinar qual é a pressão específica de corte, vários fatores devem ser levados em consideração, ainda segundo (Coppini et al., 2014), esses fatores são:

- Material da peça;
- Material e geometria da ferramenta;
- Velocidade de corte ;
- Condições de lubrificação e refrigeração;
- Estado de afiação da ferramenta;
- Secção de corte;

Contudo, mensurar valores quantitativos próximos da realidade para esses fatores, requer um estudo muito mais amplo, com ensaios e testes práticos, não sendo esse o objetivo deste trabalho.

Tendo um foco mais prático para a construção do protótipo, sabe-se que a barra de mandrilar deve ser simétrica, cilíndrica, sem variações dimensionais. Caso fosse determinado a utilização de algum material mais específico, como por exemplo um aço ao Ni-Cr-Mo, onde este é encontrado comercialmente apenas em um estado bruto e necessitaria de um processo de usinagem em toda sua superfície. Para evitar este custo, e tornar o equipamento mais eficiente, a barra de mandrilar utiliza como blank uma barra laminada, por possuir regularidade dimensional em sua superfície, assim não é necessário a usinagem de toda sua extensão. Essa barra laminada apresenta tolerância h10 com o cubo do motorreductor, permitindo que haja movimento linear entre os dois.

Para sua confecção, iniciou-se pelo corte em um comprimento não específico, pois pode ocorrer variações devido aos locais de utilização do mandrilador. Neste caso estabeleceu-se um comprimento de 2 metros. Após o corte na serra fita, deve ser usinado um furo em uma extremidade da barra, neste será encaixado um parafuso que terá a função de ligação mecânica entre a barra de mandrilar e o fuso. Este furo deve ser no centro da barra, por isso deve ser utilizado um torno mecânico.

Em seguida foi usinado um canal de chaveta na barra, obedecendo as dimensões apresentadas no cubo do motorreductor. O comprimento total do canal deve ser igual ao comprimento do cubo acrescido o comprimento do fuso. Este canal deve ser confeccionado em uma fresadora universal utilizando como ferramenta de corte uma fresa circular ou até mesmo uma broca de topo, desde que sejam respeitadas as dimensões do canal.

Para a fixação da ferramenta de corte, devem ser efetuados furos na barra em locais específicos. Estes furos devem ser passantes e perpendicularmente a eles outro furo não passante e com rosca para o parafuso que realizará a fixação da ferramenta. Todos os furos devem ser realizados em uma furadeira radial.

O fuso e a porca, que são os responsáveis pelo movimento de avanço e retorno do eixo de mandrilar, devem ter uma rosca com um passo pequeno, ou seja, a distância entre um filete de rosca para o outro deve ser curta. Essa característica proporciona para o avanço da barra

um controle mais fino, resultando em um melhor processo de usinagem e conseqüentemente em um melhor acabamento na peça usinada. Com isso o passo utilizado será de 1,75 mm.

Contudo, uma rosca com essa característica terá um filete pequeno e poderá facilmente espanar, inutilizando assim todo o equipamento. Com isso e baseado em experiências práticas, justifica-se a escolha de um material mais resistente para a confecção de ambas as peças.

Para a fabricação do fuso, deverá ser utilizado um torno mecânico, iniciando pelo furo de centro que possibilitara a usinagem da peça com o uso do contra ponto, em seguida o desbaste até a dimensão correta, encerando pelo processo de rosqueamento externo como demonstrado na Figura 45.

Figura 45 – Usinagem fuso



Fonte: Autor (2023).

Para a fabricação da porca, também em torno mecânico, inicia-se pelo furo de centro que terá a função de guiar a broca seguinte, uma vez que a porca deve ter um furo passante. Após o processo de broqueamento, deve ser realizado o desbaste até a dimensão correta, e em seguida o processo de rosqueamento interno.

Para as operações de desbaste e rosqueamento interno e externo, utilizam-se os mesmos insertos intercambiáveis, alterando-se apenas o suporte dos mesmos.

Como o fuso é o responsável pelo avanço da ferramenta de corte, estará sobre constante carregamento, então pode-se calcular qual a carga máxima suportada pelo fuso, sabendo que o diâmetro é de 37,7 mm, com passo de 1,75 mm e conseqüentemente o diâmetro útil de trabalho de 35,5 mm, será construído de aço SAE 1060 com limite de escoamento de 380 N/mm². Segundo (NORTON, 2013), a tensão de escoamento é resultado da divisão da força aplicada pela área útil do fuso, com isso temos que:

$$F = T.A \quad (5)$$

Onde:

T = Tensão de Escoamento de 380 N/mm²

A = Área da seção útil de trabalho de 989 mm²

Com isso encontramos 376 KN ou 38 mil quilogramas de resistência a tração. Portanto, pode-se considerar que o fuso não apresentará problemas.

Para a fabricação dos flanges, deve-se iniciar pelo corte dos materiais, que pode ser pelo processo de oxicorte ou corte a plasma. As peças devem ser cortadas em formato circular, para que possam ser facilmente presas na placa do torno, para usinagem do furo central e posterior acabamento na região do corte. Os flanges devem ter furos igualmente divididos para sua fixação no motorreductor e mancais.

No caso da ferramenta de corte, mesmo existindo uma infinidade de modelos disponíveis no mercado, não foi possível encontrar uma que melhor se adaptasse ao equipamento, motivo pela qual decidiu-se por fabricá-la. Sua fabricação é simples, necessitando apenas de uma base metálica, que neste caso utiliza-se uma barra roscada de 10 mm, onde é feito um pequeno encaixe em uma ponta para apoiar a pastilha de metal duro e realizar a solda oxiacetilênica. Foram fabricadas duas ferramentas, uma a direita e outra a esquerda como demonstrada na Figura 46.

Figura 46 – Ferramentas



Fonte: Autor (2023).

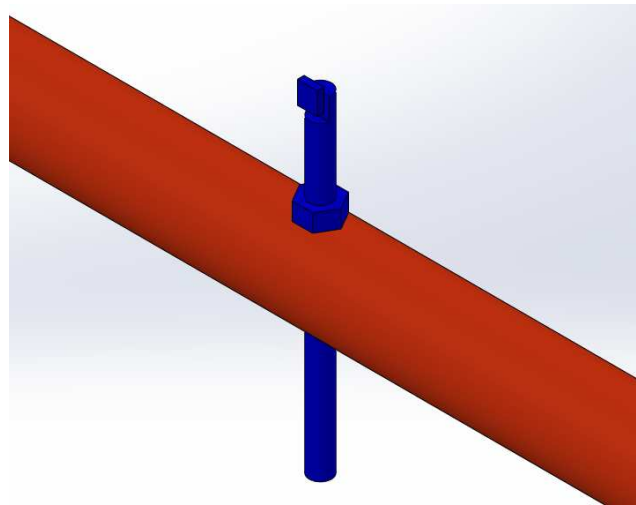
Para sua correta afiação, deve-se seguir o demonstrado na Figura 25 - Cunha de Corte e Figura 28 – Representação do Corte Tridimensional, onde a geometria deve apresentar a Superfície Principal de Folga que é a superfície que se defronta com as superfícies em usinagem (peça), e a Superfície de Saída que é responsável pela formação e, sobre a qual o cavaco

escoa durante a sua saída da região de trabalho de usinagem. Estas são cruciais para o bom desempenho no processo de corte da mesma.

O processo é simples, porém requer alguns cuidados e uma boa prática no manuseio do equipamento para a obtenção de uma boa solda.

A utilização da barra roscada como base para a ferramenta possibilita um acréscimo na profundidade de corte mais controlado, com precisão próxima de 0,5 mm (cinco décimos de milímetros), o que significa que o avanço da ferramenta será controlado por uma porca, que a medida que realiza o giro em torno de seu eixo central desloca a ferramenta, aumentando o ap, como exemplificado na Figura 47.

Figura 47 – Sistema de avanço da ferramenta



Fonte: Autor (2023).

Desta forma, conhecendo-se o passo da rosca, que no caso é de 1,5 mm, pode-se determinar que a cada volta da porca a ferramenta tem um acréscimo de 1,5 mm no ap.

A rotação da ferramenta será controlada pela relação do motor e redutor. Neste caso, o motor irá trabalhar a 1715 Rotações por Minuto (rpm), e o redutor apresenta uma relação de 1/40, ou seja, a saída será 40 vezes mais lenta que a entrada. Com isso pode-se afirmar que a rotação da ferramenta será de 42,8 rpm. Conhecendo essa informação pode-se afirmar que não existirá a necessidade de um sistema de refrigeração, mas será necessário a instalação de uma sistema de lubrificação para que a retirada do material excedente (cavaco) seja facilitada.

Um método muito utilizado, principalmente por pequenas empresas, em função de seu baixíssimo custo, é a aplicação da gordura vegetal ou animal nas superfícies de corte. A aplicação pode ser feita de maneira muito simples, com o uso de um pincel de cerdas ou aquecendo-se a gordura para facilitar seu escoamento. Contudo, para o sistema do mandrilador, esta prática não será recomendada devido ao alto grau de periculosidade.

Uma simples solução para tal questão é o uso de aerossol, possibilitando a fácil aplicação do lubrificante na região de corte, evitando assim o contato com quaisquer partes móveis do mandrilador. A aplicação deve ser feita de acordo com a necessidade da operação, sendo

controlada pelo operador e podendo variar devido a alterações em parâmetros como ap, dureza do material usinado e velocidade de avanço.

Todos as etapas de fabricação foram executadas nas dependências da empresa, com orientações e supervisão do responsável técnico da mesma.

5.3 Montagem do Protótipo

Para que a montagem de qualquer equipamento possa ocorrer da maneira correta, requer conhecimentos bem específicos, por não ser uma tarefa tão trivial como se pensa. E quando se trabalha com um protótipo podem aparecer os primeiros erros de projeto, a exemplo de colisões entre componentes, furos não concêntricos e tolerâncias erradas, reforçando assim a necessidade da prototipagem para equipamentos produzidos em larga escala.

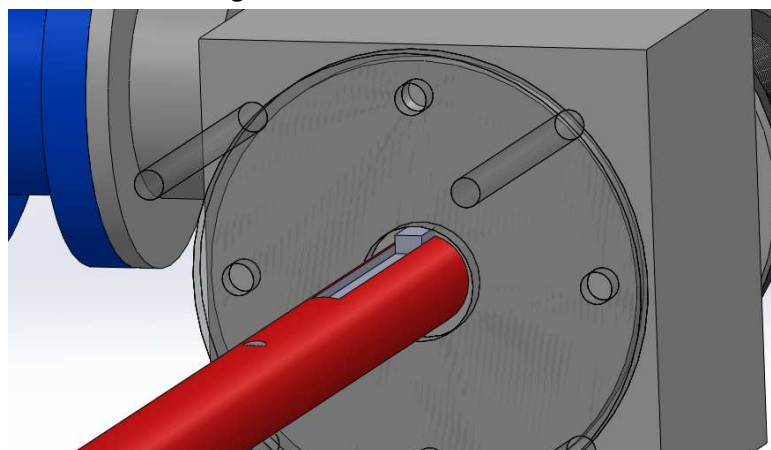
No protótipo proposto surgiram alguns erros de montagem, como a tolerância muito justa da chaveta com a barra de mandrilar e dos furos dos flanges, que não se alinham com os mancais de rolamentos.

Esses erros foram facilmente corrigidos, realizando pequenos ajustes nas peças, sendo o processo de correção fácil e rápido, uma vez que se tratavam de poucas unidades. Com os erros corrigidos, a etapa de montagem do protótipo foi concluída com êxito. A seguir será descrito o que foi realizado no processo.

5.3.1 Procedimentos de Montagem

O início da montagem do protótipo, parte do posicionamento da chaveta no cubo do motorreductor que deve ser presa com solda ou parafusada no cubo, para não se deslocar com os movimentos lineares da barra de mandrilar, demonstrada na Figura 48.

Figura 48 – Detalhe da chaveta

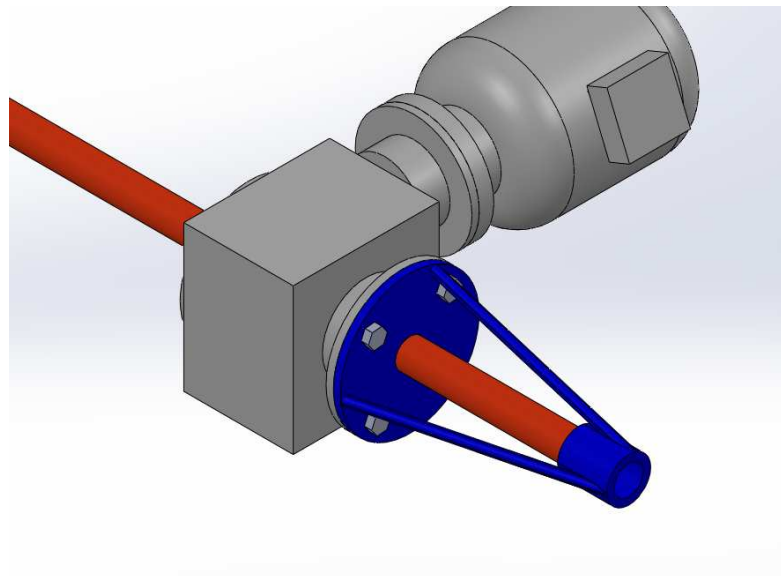


Fonte: Autor (2023).

Com a chaveta posicionada, a barra de mandrilar foi introduzida no cubo. Nesse momento pode ser conferido o ajuste entre esses componentes, ou seja, a barra de mandrilar deve realizar movimentos lineares de avanço e retorno sem apresentar quaisquer dificuldades ao montador.

Para o posicionamento da porca, pode ser utilizada a barra de mandrilar como uma espécie de guia, uma vez que estas devem estar alinhadas. A distância que a porca deva ficar do motorreductor é a mesma do comprimento total do fuso. A porca foi soldada à um flange que será parafusado no motorreductor como demonstrada na Figura 49, o que garantirá ao sistema um acoplamento rígido capaz de suportar os esforços provocados pelo processo de usinagem.

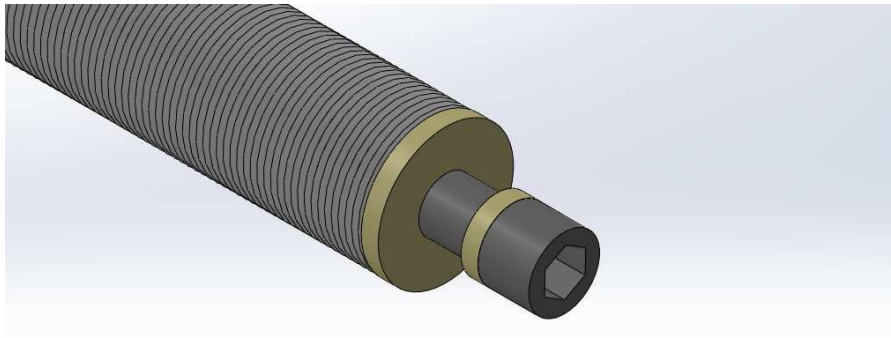
Figura 49 – Posicionamento da porca



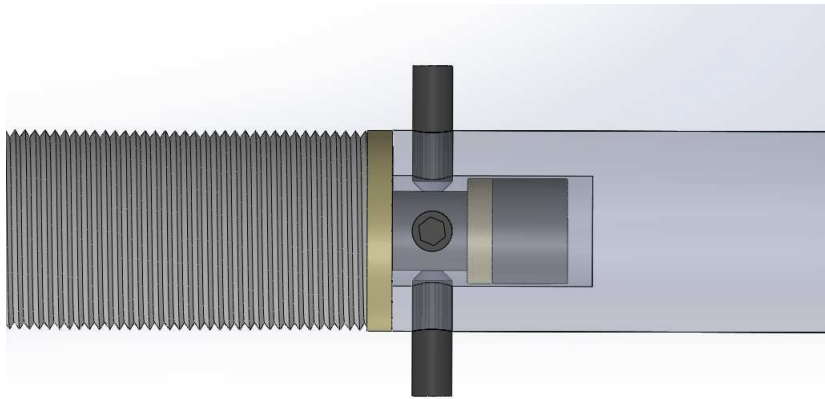
Fonte: Autor (2023).

A principal particularidade deste protótipo é o sistema do acoplamento entre a barra de mandrilar e fuso, devido sua simplicidade, funcionalidade e tamanho reduzido. O acoplamento é feito através de 5 parafusos. O principal parafuso, um allen M 16, deve ser parafusado no eixo central do fuso. O parafuso deve encostar no final do furo do fuso, assim, a cabeça do parafuso ficará afastada da face do fuso, como demonstrado na Figura 50. A distância pode variar de 25 a 30 mm.

O furo feito na barra de mandrilar deve ser encaixado neste parafuso, quando o fuso realiza o movimento de avanço, ele empurra a barra de mandrilar para frente, e para evitar atrito entre as barras de aço, utiliza-se uma arruela de bronze para evitar desgastes nos componentes, como demonstrado na Figura 51. Para que a barra de mandrilar realize o movimento de retorno, devem ser parafusados os outros quatro parafusos, estes M 8, perpendiculares ao eixo central da barra, estes parafusos iram atritar lateralmente com a cabeça do parafuso M 16, como demonstrado na Figura 51, e para não ocorrer desgastes nos componentes foi utilizado outra arruela de bronze.

Figura 50 – Montagem parafuso allen M16

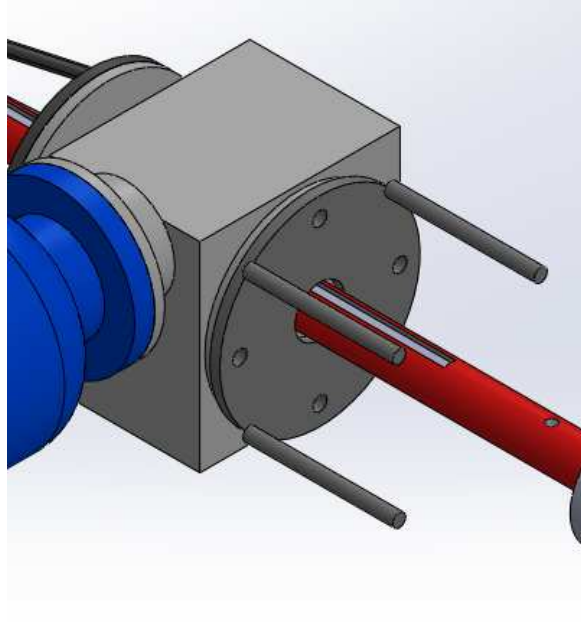
Fonte: Autor (2023).

Figura 51 – Montagem acoplamento

Fonte: Autor (2023).

Do outro lado no motorreductor, deve ser parafusado outro flange, demonstrada na figura 52 neste serão soldados pinos, e estes pinos devem ser soldados á peça base que se deseja usinar, assim sustentam todo o conjunto. Para que a barra de mandrilar não trabalhe em balanço, utiliza-se um rolamento de inserção posicionado na outra extremidade da peça a ser usinada. Ambas situações estão demonstradas na Figura 35.

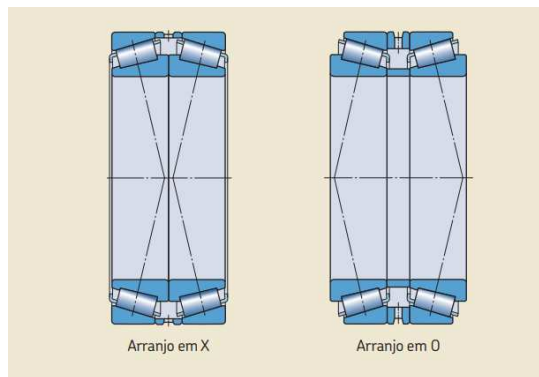
Figura 52 – Flange para fixação na peça base



Fonte: Autor (2023).

Para que a usinagem de correção de cilíndricidade e circularidade seja realizada de forma correta, a barra de mandrilar deve ser posicionada exatamente no eixo central dos furos que se desejam corrigir. Para que esse correto posicionamento ocorra, foi utilizado duas buchas cônicas bi-partidas. Elas devem ser montadas similarmente aos rolamentos cônicos, apresentando variações em X e em O, como demonstrado na Figura 53.

Figura 53 – Variações de montagem para rolamentos cônicos



Fonte: Adaptado de Grupo SKF (2015).

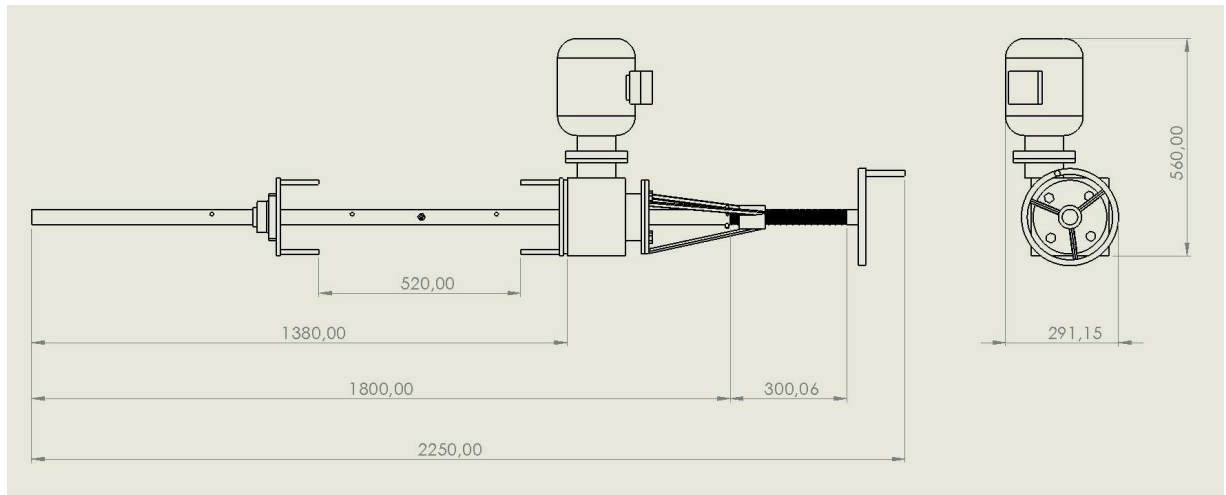
Em muitos casos, o furo da peça base estará ovalizado, acarretando em um desalinhamento da barra de mandrilar, isso deve ser corrigido acrescentando calços metálicos entre o furo e a bucha cônica, deve ser conferindo seu posicionamento medindo-se a distancia entre a barra e a superfície da peça, essa medida pode ser de forma linear com o auxilio de um paquímetro conferindo a distancia entre as extremidades da barra com a superfície da peça, ou de forma perpendicular com o uso de um esquadro entre a barra e a peça.

Por apresentarem superfícies cônicas, facilitando assim o alinhamento da barra de mandrilar, também possibilita que o mesmo conjunto de buchas se adaptem á diferentes diâmetros de furos. E devem ser bi-partidas para, ao momento, que todo o conjunto do mandrilador estiver fixado á peça base, estas buchas possam ser facilmente retiradas do conjunto, uma vez que sua única e exclusiva função de alinhar os eixos fora concluída.

Para finalizar, o manipulador deve ser instalado no fuso, para que o operador possa realizar os movimentos de avanço e retorno da barra de mandrilar. Finalizando assim a montagem do protótipo do mandrilador portátil.

As principais dimensões do protótipo são apresentadas na figura 54 a seguir, todas em milímetros.

Figura 54 – Principais dimensões do protótipo



Fonte: Autor (2023).

6 TESTE EM CAMPO

Para que o protótipo possa ser considerado como um equipamento eficaz, ele deve cumprir alguns requisitos, como demonstrado na Tabela 1 - Especificações Metas do Protótipo da página 51 deste. Estes requisitos foram levantados através de experiências práticas de outros processos de usinagem.

6.1 Instalação

O primeiro e principal requisito deste projeto é que o mandrilador deva apresentar fácil instalação, afinal trata-se de um equipamento portátil e com isso deve ser instalado em diferentes locais. Então, com todo o conjunto montado, Figura 55 mediu-se a massa, com valor de 77 Kg. Este valor atende a um dos requisitos, onde se estabelece que o peso deveria ser inferior a 100 Kg.

Figura 55 – Mandrilador portátil



Fonte: Autor (2023).

Outro fator importante para a instalação do mandrilador portátil, é o alinhamento do eixo central da barra de mandrilar com o eixo central dos furos que se deseja corrigir. Esta função é exercida pelas buchas cônicas, que podem apresentar montagem em X ou em O, como demonstrada na Figura 56. Para o correto posicionamento, as buchas devem estar bem fixadas, não permitindo que exista algum tipo de movimento da barra de mandrilar. Sua retirada ocorre depois que os mancais de sustentação e o motorreductor são fixados á peça base, todos por solda, e pelo fato das buchas serem bi-partidas, são facilmente retiradas.

Este sistema mostrou-se extremamente eficaz e com resultados satisfatórios, por ser fácil de instalar e de posicionar a barra de mandrilar exatamente no eixo central dos furos a ser usinados. Com isso o mandrilador atendeu perfeitamente ao requisito de fácil instalação.

Figura 56 – Montagem buchas cônicas. superior em X e inferior em O



Fonte: Autor (2023).

6.2 Potência Elétrica e Adequação da Velocidade

Outro requisito relevante para o sistema é a potência do motor elétrico, e este apresenta 3000 watt. A potência adequada é necessária para que se possa gerar torque suficiente capaz de realizar a usinagem, como o motor elétrico e o redutor fora fornecido pela empresa, restaram apenas adequar os parâmetros de usinagem no equipamento.

Similarmente a potência, a adequação da velocidade em que a ferramenta gira, tornou-se um parâmetro sem opção de alteração, sendo que a rotação do motor de 1800 rpm em uma redução de 1/40, proporciona a ferramenta de corte uma rotação de 45 rpm. Para que este parâmetro, possa ser alterado, deve-se instalar um inversor de frequência. Neste primeiro momento, o inversor não será usado, mas será considerado para futuras melhorias no sistema.

Considerando que o mandrilador fora testado em aços estruturais com baixo teor de carbono, como o Society of Automotive Engineers International (SAE) 1005 até o SAE 1020, a corrente elétrica nominal manteve-se sempre abaixo de 11,7 ampere, indicada na placa do motor pelo fabricante, exceto claro na partida do mesmo. Varias medições foram realizadas, sempre variando-se o ap, como demonstrada na tabela 6 a seguir. Alguns leituras podem divergir, porque a velocidade de avanço da ferramenta varia de acordo com a sensibilidade do operador.

Além da interferência da velocidade de corte, outro fator que pode provocar alterações nas leituras é qualidade da ferramenta, principalmente no gume de corte.

Tabela 6 – Corrente elétrica em relação a profundidade de corte

Profundidade de Corte (mm)	Corrente Elétrica (A)
2	7,4
4	9,5
6	10,8
8	11,3
10	11,5

Fonte: Aatoria própria (2023).

Com isso, para que as leituras fossem as mais coerentes possíveis com a realidade, foram coletadas usando a mesma ferramenta de corte, no mesmo material estruturar, e com o mesmo operador. Pode-se concluir que o motor elétrico não apresentou sobre cargas, realizando o processo de usinagem de maneira eficiente.

6.3 Rigidez Barra de Mandrilar

A rigidez da barra de mandrilar é considerada um requisito de extrema importância, contudo, devido restrições de montagem e comerciais, não apresentou um dimensionamento mais preciso. Durante os testes, observou-se vibrações na ferramenta causadas pela flexão da barra, causando irregularidades no acabamento, geometria incorreta no furo e em alguns casos quebra da ferramenta.

Contudo, esse percalço foi facilmente solucionado com a instalação de mais pontos de apoio (mancais de inserção), como demonstrada na Figura 57. A instalação destes mancais deve ser próximo aos pontos de usinagem, tornando o sistema de fixação mais rígido.

Figura 57 – Mandrilador portátil

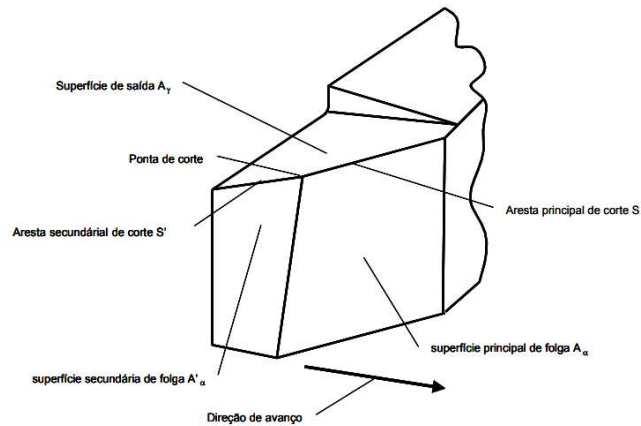
Fonte: Autor (2023).

Como a barra não apresentou problemas relacionado a torção, pode ser concluído que tanto a sua dimensão quanto o material escolhido suprirão a demanda exigida, portanto este requisito fora cumprido com sucesso.

6.4 Aresta de Corte Eficiente

Com o problema da vibração solucionado, e com a geometria da ferramenta de corte definida e demonstrada na figura 58, melhorou sua eficiência e conseqüentemente a durabilidade. Apresentando um corte mais suave e contínuo que pode ser observado no formato dos cavacos, apresentados na Figura 59.

Figura 58 – Aresta de corte



Fonte: Adaptado de Santos (2004).

Figura 59 – Formato dos cavacos



Fonte: Autor (2023).

Com o auxílio da Figura 30 - Classificação dos Cavacos, podemos classificá-los como hélice longa e hélice curta. Com essa definição, conclui-se que os parâmetros de usinagem como a profundidade de corte e velocidade de avanço estão coerentes com o mencionado na literatura, com isso, o requisito da aresta de corte eficiente foi cumprido com êxito.

6.5 Sistema de Avanço

Para o sistema de avanço, o mandrilador requer muito da experiência e sensibilidade do operador, pois o sistema ainda é manual. Contudo, como o fuso apresenta uma rosca considerada com passo fino, de 1,75 mm, isso auxilia para que o avanço seja se forma lento e continua.

Como não existe folga entre a porca e o fuso, o avanço torna-se muito preciso, isso é facilmente observado na Figura 54 - Formato dos Cavacos, onde observa-se cavacos com formatos de hélice longas, que são provenientes de avanços contínuos. Desta forma, conclui-se que o sistema de avanço é eficiente, e com isso, cumpriu com seu requisito com exito.

6.6 Qualidade na Usinagem

Outro requisito muito relevante para o mandrilador, é que as peças usinadas devam apresentar superfícies cilíndricas e concêntricas, uma vez que seu principal objetivo é de corrigir esses defeitos. Esse defeito pode ser observado na Figura 60, onde furo da peça em questão, apresenta uma excentricidade causada pela falta de manutenção, essa excentricidade é facilmente percebida quando compara com a circularidade do pino.

Figura 60 – Furo defeituoso com excentricidade



Fonte: Autor (2023).

Após a usinagem do furo, foi realizada a medição com a utilização de um paquímetro digital, nesta medição observou-se que o furo apresentava uma excentricidade de 2 centésimos de milímetros (0,02 mm). Esta diferença na circularidade está dentro de uma tolerância aceitável para o processo. Quanto ao quesito da cilindricidade, o furo não apresentou variações, tendo a mesma dimensão do início ao fim.

Outro fator referente á integridade superficial, é a rugosidade da superfície, porém como a empresa não possui um rugosímetro, não foi possível realizar as medida. Contudo, pode-se

compará-la com outros processos de usinagem. O resultado obtido, demonstrado na Figura 61 é próximo do acabamento obtido através do torneamento, entre as classes (GRADE) N10 á N7.

Figura 61 – Furo corrigido



Fonte: Autor (2023).

Então, mesmo apresentando uma pequena excentricidade, os parâmetros de circularidade, cilíndricidade e rugosidade superficial são considerados como satisfatórios, com isso o mandrilador teve êxito nos requisitos da qualidade de usinagem.

6.7 Sistema de Lubrificação

Para um processo de usinagem, principalmente a baixa rotação, a adição de qualquer espécie de fluido tem como objetivo principal a de lubrificante, facilitando a remoção do cavaco usinado. Um lubrificante muito utilizado pela empresa é a gordura animal, devido seu baixo custo e propriedades lubrificantes adequadas para o processo.

Contudo a adição deste produto nas superfícies a serem usinadas, mostrou-se inadequada, principalmente quando o equipamento está ligado, tornando uma operação perigosa e passível de acidentes, pelo fato de sua aplicação ser realizada com o auxílio de pincel de cerdas devida sua textura.

Com isso a usinagem sem adição de lubrificante foi testada, mas seus resultados não foram favoráveis, pois a superfície usinada tornou-se mais áspera e percebeu-se uma deficiência na remoção dos cavacos, e em alguns casos ocasionaram a quebra da ferramenta.

A solução encontrada foi o uso de um lubrificante em aerossol, onde sua aplicação na superfície de corte é realizada a uma distância segura para o operador. Deve ser pulverizada de acordo com a necessidade de cada situação. Esse lubrificante é composto de óleo mineral, óleo vegetal aditivos, anticorrosivos e gás propelente. É facilmente encontrado em qualquer comércio de ferragens.

6.8 Segurança e Controle

Visando garantir primeiramente, a saúde e segurança física dos operadores de qualquer tipo de contato com componentes energizados e posteriormente a proteção do sistema contra sobre-cargas, a utilização do painel de controle elétrico é de extrema importância e mostrou-se extremamente eficaz. Com sua utilização, possibilita ao operador realizar a usinagem com mais segurança, pois:

- Possuir dispositivos de atuação que exijam intenção em acioná-los á fim de minimizar a probabilidade de acionamento acidental;
- Dificulta o contato com componentes energizados;
- O comando não deve se localizar em zonas perigosas ;
- Ser de fácil desligamento em caso de emergência ;
- Instalação que dificulte a sua burla;
- Possui sinalização quanto ao perigo de choque elétrico ;
- Restrição de acesso para pessoas não autorizadas;

Já para o equipamento, sua utilização é importante pois o comando possui dispositivos que previnem a sobrecarga elétrica do motor, como também situações de sobre-tensão, que acarentariam na degradação das bobinas elétricas, causando sua queima.

Devido a pouca exigência do equipamento mandrilador portátil, o quadro de comando elétrico é simples, possuindo apenas os componentes de força e comando. O esquema elétrico com a ligação dos componentes segue em anexo.

7 CONCLUSÃO

Considerando que o presente trabalho cumpriu todas as etapas previstas, neste momento são apresentadas as considerações finais, tendo como base os requisitos citados inicialmente. Também, compreende-se que pode haver melhorias no processo, aproveitado-se para sugestões em trabalhos futuros.

Com isso, tendo como objetivo inicial o desenvolvimento e fabricação de um mandrilador portátil, em nível de prototipagem, buscou-se sempre atender requisitos mínimos de utilização, tendo como resultado final a aprovação do mesmo.

Durante o desenvolvimento do protótipo foram identificadas algumas limitações, sendo a principal o correto alinhamento da barra de mandril na peça a ser usinada. Todavia este percalço fora facilmente superado com a utilização de buchas cônicas. Contudo isso não fora o suficiente para motivar a reprovação do mesmo.

Possíveis alterações e melhorias no protótipo foram observadas durante sua fabricação, a mais relevante é a instalação de um sistema automático para o avanço da barra de mandril, tornando o movimento mais preciso, sem as variações causadas pelo operador.

Conclui-se que sua aprovação é baseada e sustentada pelos resultados obtidos através da fácil fabricação, a versatilidade e praticidade para a instalação, e principalmente resultados finais satisfatórios durante os testes.

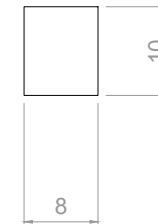
REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, O. L. **Engenharia de Fabricação Mecânica**. [S.l.]: 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2018.
- ALMEIDA, P. S. **Manutenção Mecânica Industrial**: Conceitos básicos e tecnologias aplicadas. [S.l.]: São Paulo: Editora Érica, 2014. Acesso em: 03 set. 2022.
- ALMEIDA, P. S. **Processos de Usinagem**: Utilização e aplicação das principais máquinas operatrizes. 1. ed. [S.l.]: São Paulo: Editora Érica, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8404**: Indicação do estado de superfícies em desenhos técnicos. [S.l.: s.n.], 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NR 12**: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. [S.l.: s.n.], 2019.
- CASPAR, E. S. **Ferramentas de Corte 2**: Brocas, alargadores, ferramentas de roscar, fresas, brochas, rebolos e abrasivos. [S.l.]: 2 ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1995.
- FERRARESI, D. **Usinagem dos Metais**: Fundamentos da usinagem dos metais. [S.l.]: São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1970.
- GENEROSO, D. J. **Usinagem Avançada Torneamento**. Campus Araranguá: [s.n.], 2011. 32 p.
- GOULART, R. **Processos de Usinagem**. [s.n.], 2022. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1914441/mod_resource/content/1/Aula%20Plaina%202016.pdf. Acesso em: 29 set. 2022.
- GROOVER, M. P. **Introdução aos Processos de Fabricação**. [S.l.]: 1 ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2014.
- JUSTINO, C. **Telecurso 2000 Profissionalizante**: Mecânica metrologia. [S.l.]: São Paulo: Editora Globo S.A., 2000.
- KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. R. **Manufacturing Engineering and Technology**. [S.l.]: Pearson Education, 2006.
- NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas**: Uma abordagem integrada. [S.l.]: Porto Alegre : Bookman,, 2013.
- RAEBURN, A. **Processo de desenvolvimento de produtos: os 6 estágios**. Asana, 2022. Disponível em: <https://asana.com/pt/resources/product-development-process?gclid>. Acesso em: 20 set. 2022.
- ROMI. **Centros de Usinagem Romi**. [s.n.], 2022. Disponível em: <https://www.romi.com/categoria/maquinas-ferramenta/centros-de-usinagem/>. Acesso em: 29 set. 2022.
- SANDVIK. **Ferramentas de Furação**. [s.n.], 2022. Disponível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/products/pages/drilling-tools.aspx>. Acesso em: 06 out. 2022.
- SANTOS, D. W. F. S. . M. D. S. C. **FUNDAMENTOS DA USINAGEM DOS MATERIAIS**. [S.l.]: PUC Minas, 2004.
- SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**: Tradução de daniel m. miranda. [S.l.]: São Paulo: Editora Edipro, 2016.

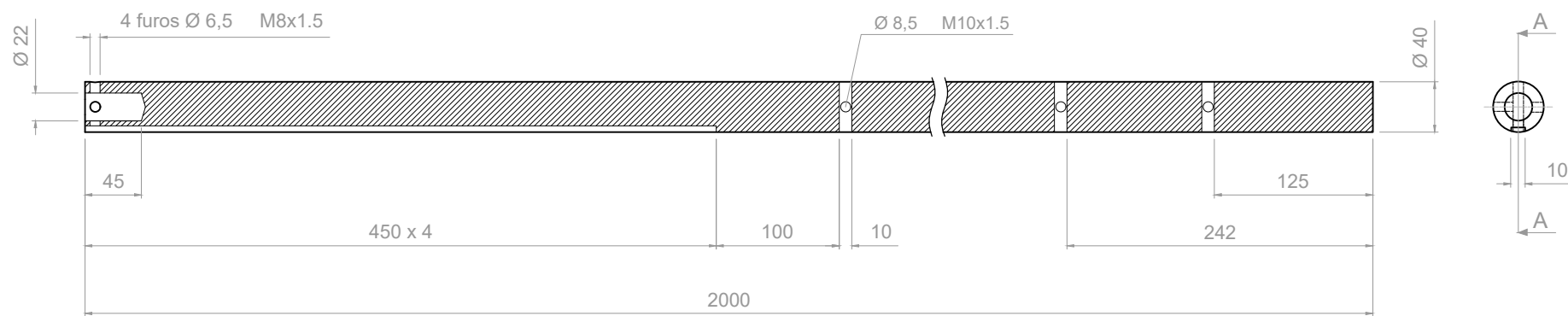
- STOETERAU, R. L. **Desenvolvimento de Protótipo de uma Máquina-Ferramenta Comandada Numericamente para Usinagem de Ultraprecisão**. Florianópolis: [s.n.], 1999. 243 p.
- TECNOPROD. **Tecnologia de Produção**. Jundiaí-São Paulo, 2022. Disponível em: <https://tecnoprod.com.br/site/maquinas-disponiveis/>. Acesso em: 29 set. 2022.
- Coppini et al., N. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. [S.l.]: 9 ed. São Paulo: Ed. Artliber, 2014.
- Rozenfeld et al., H. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**: Uma referência para melhoria do processo. [S.l.]: São Paulo: Editora Saraiva, 2006.
- Caterpillar. **Caterpillar Brasil**. [s.n.], 2023. Disponível em: <https://www.caterpillar.com/pt.html>. Acesso em: 14 mar. 2023.
- Egepar, I. E. L. **Mandrilador de Campo**. [s.n.], 2022. Disponível em: <http://www.egepar.com.br/york.htm>. Acesso em: 22 out. 2022.
- Grupo SKF. **Catálogo de Rolamento SKF**. [S.l.: s.n.], 2015.
- Machado et al., A. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. [S.l.]: 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009.
- Machado et al., A. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. [S.l.]: 3. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2015.
- VALIM, D. B. **Usinagem**. [S.l.]: São Paulo: SAGAH EDUCAÇÃO S.A., 2018.

APÊNDICES

Apêndice A - Desenhos detalhados dos componentes fabricados

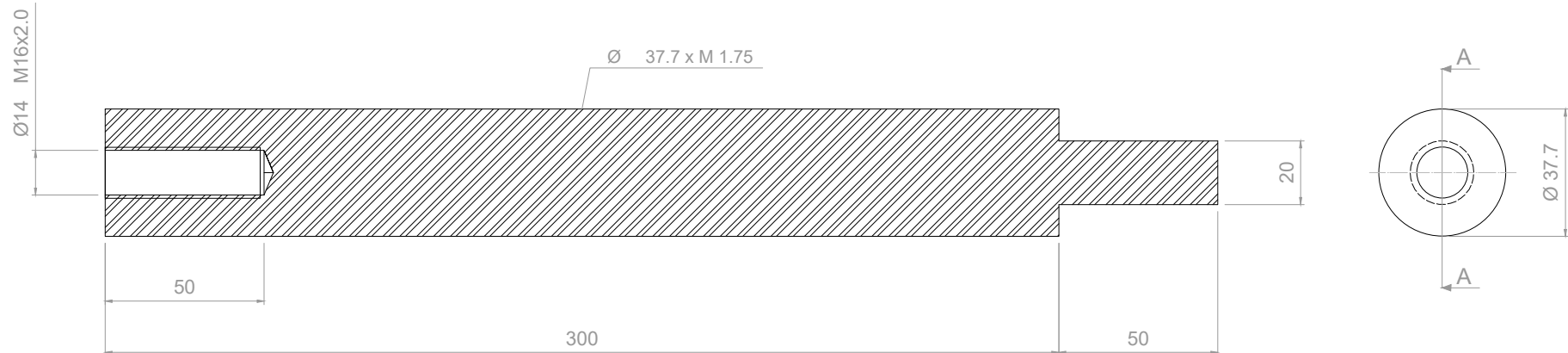


Desenho	Frozza	Data	22/05/2023		UTFPR		
Projeto	Frozza	Escala	1:1				
Desenho	Frozza	Material	SAE 1020	Projeto	Trabalho de Conclusão de Curso		
Quantidade	01 unidades	Matéria Prima	150mmx10mmx10mm	Título	Chaveta		
Tolerância	h8	Unidade	mm	Des N°	01	Revisão	A4
		Não medir sobre o desenho Rebarbar e quebrar arestas agudas		Acabamento	Usinado / Laminado	Folha 1 de 1	




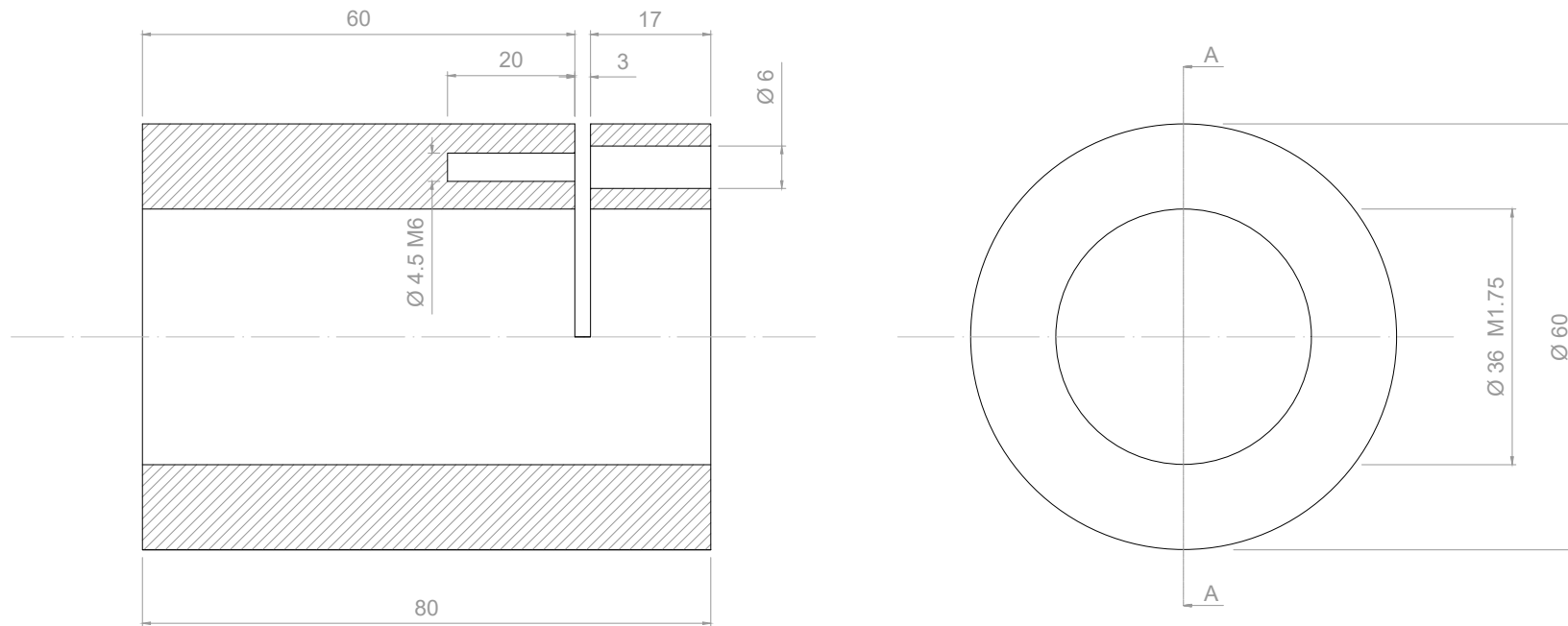
SEÇÃO A-A

Desenho	Frozza	Data	22/05/2023				
Projeto	Frozza	Escala	1:5				
Aprovado		Material	SAE 1045	Projeto	Trabalho de Conclusão de Curso		
Quantidade	01 unidades	Matéria Prima	$\varnothing 40\text{mm} \times 2000\text{mm}$	Título	Barra de Mandrilar		
Tolerância	Barra h10 Demais h8	Unidade	mm	Des N°	02	Revisão	A4
		Não medir sobre o desenho Rebarbar e quebrar arestas agudas		Acabamento	Usinado / Laminado	Folha 1 de 1	



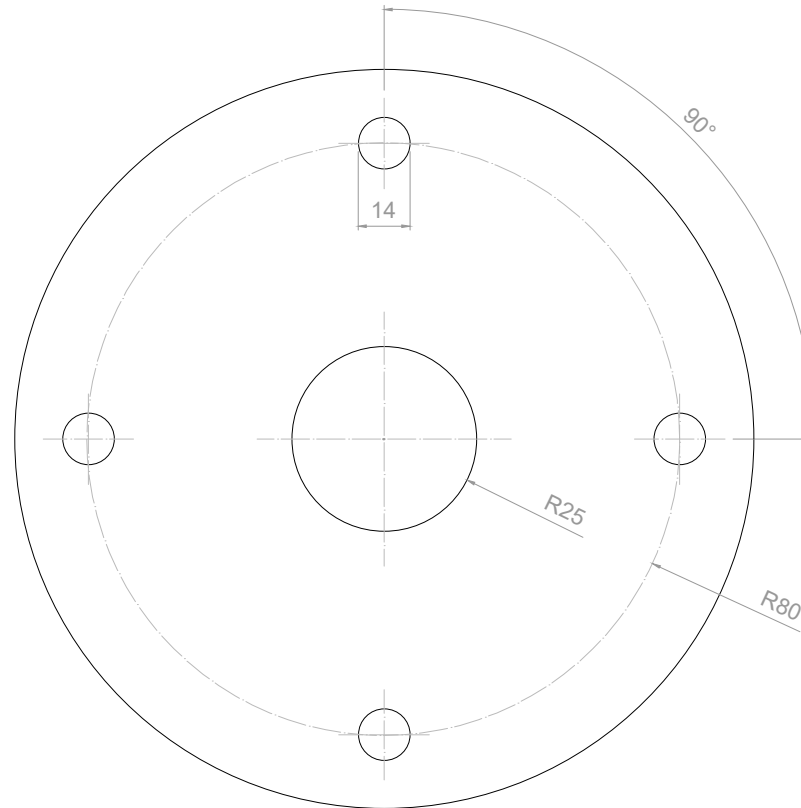
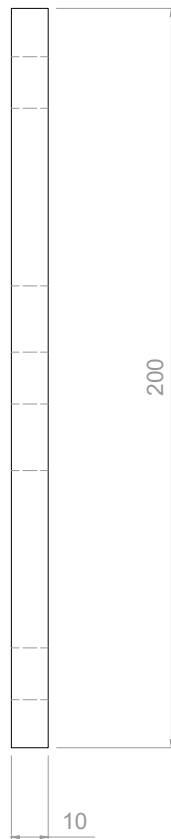
SEÇÃO A-A

Desenho	Frozza	Data	22/05/2023				
Projeto	Frozza	Escala	1:2				
Aprovado		Material	SAE 1060	Projeto	Trabalho de Conclusão de Curso		
Quantidade	01 unidades	Matéria Prima	Ø1 1/2" x 350mm	Título	Fuso		
Tolerância	Rosca h6 Manipulo j6	Unidade	mm	Des N°	03	Revisão	A4
		Não medir sobre o desenho Rebarbar e quebrar arestas agudas		Acabamento	Usinado	Folha 1 de 1	

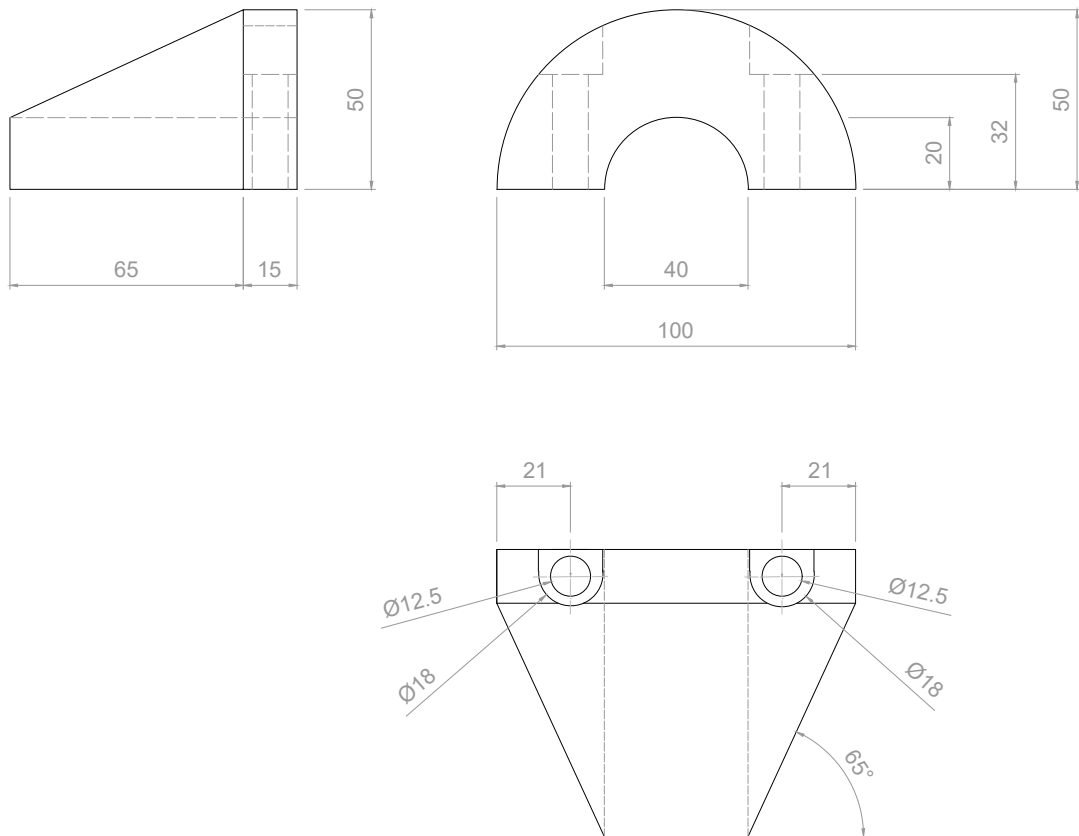



SEÇÃO A-A

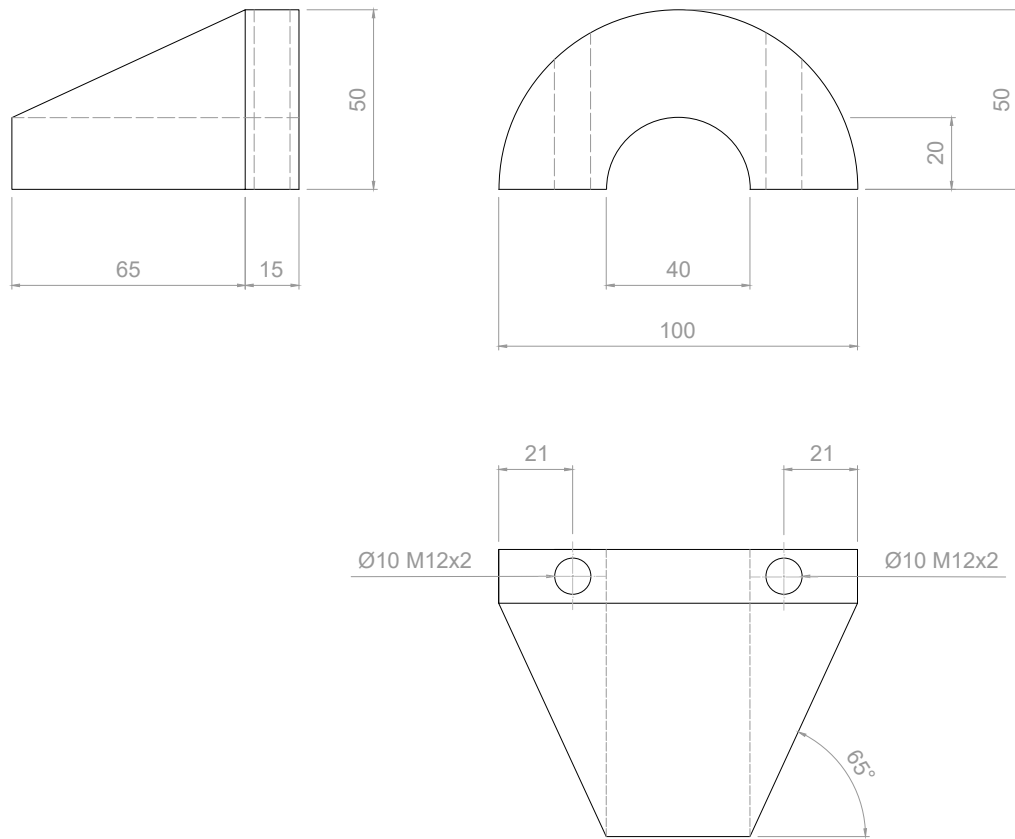
Desenho	Frozza	Data	22/05/2023				
Projeto	Frozza	Escala	1:1				
Aprovado		Material	SAE 1060	Projeto	Trabalho de Conclusão de Curso		
Quantidade	01 unidades	Matéria Prima	Ø2 1/2" x 80mm	Título	Porca		
Tolerância	Rosca H7 Externo j6	Unidade	mm	Des N°	04	Revisão	A4
		Não medir sobre o desenho Rebarbar e quebrar arestas agudas		Acabamento	Usinado	Folha 1 de 1	




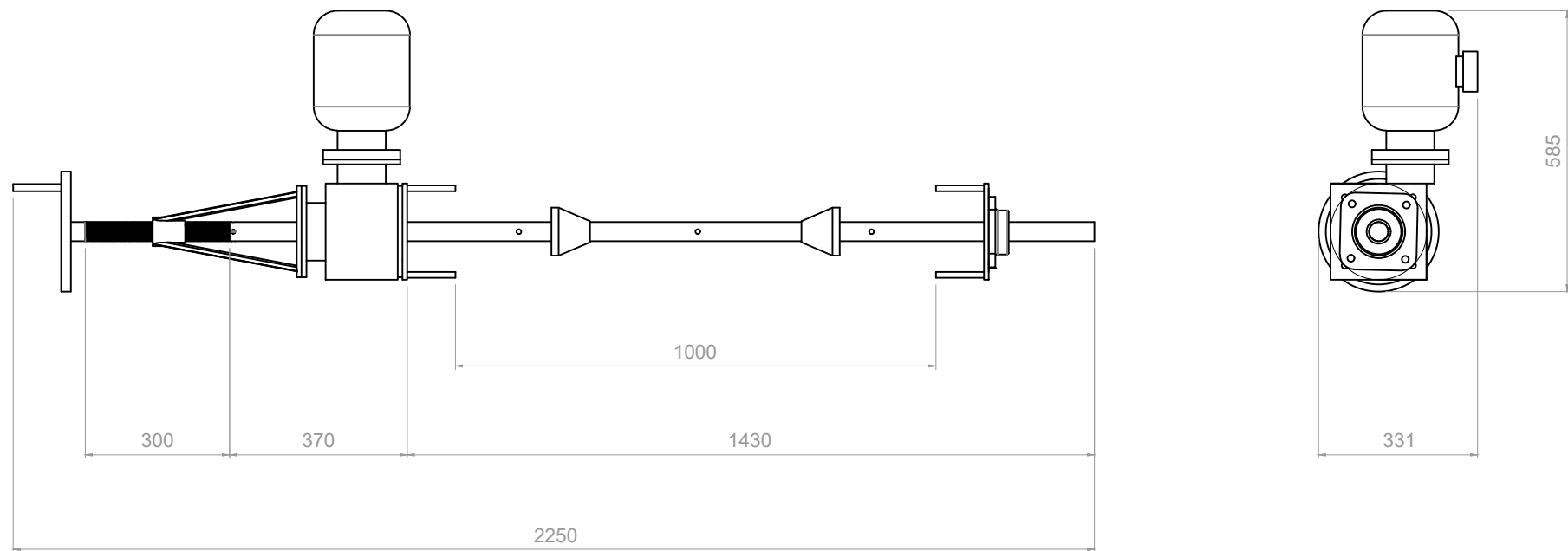
Desenho	Frozza	Data	22/05/2023				
Projeto	Frozza	Escala	1:2				
Aprovado		Material	SAE 1020	Projeto	Trabalho de Conclusão de Curso		
Quantidade	03 unidades	Matéria Prima	Ø200mm x 10mm	Título	Flange		
Tolerância	h8	Unidade	mm	Des N°	05	Revisão	A4
		Não medir sobre o desenho Rebarbar e quebrar arestas agudas		Acabamento	Usinado	Folha 1 de 1	




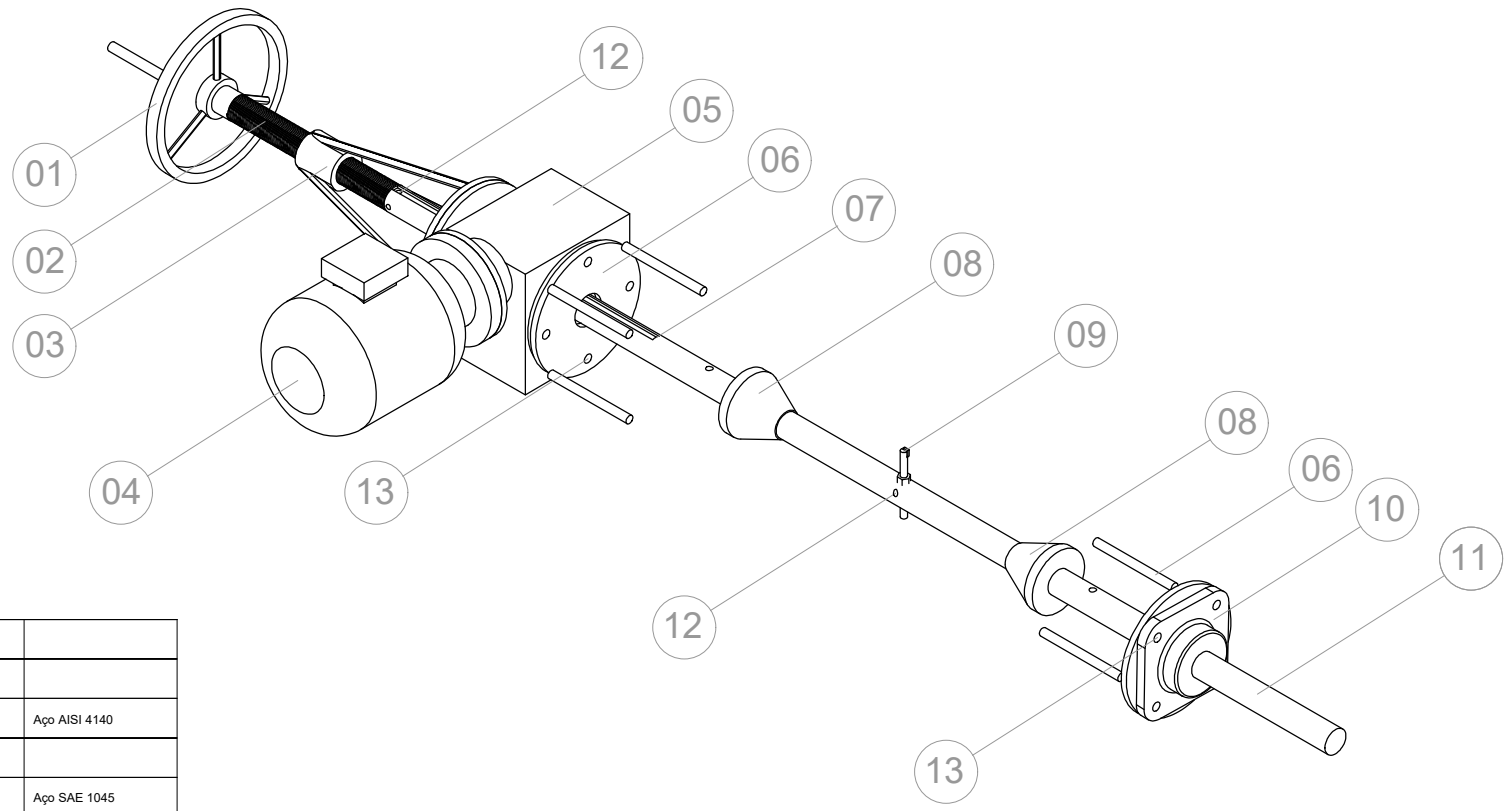
Desenho	Frozza	Data	22/05/2023				
Projeto	Frozza	Escala	1:2				
Desenho	Frozza	Material	SAE 1020	Projeto	Trabalho de Conclusão de Curso		
Quantidade	02 unidades	Matéria Prima	Ø4" x 80mm	Título	Bucha Cônica lado Superior		
Tolerância	h8	Unidade	mm	Des N°	06	Revisão	A4
		Não medir sobre o desenho Rebarbar e quebrar arestas agudas		Acabamento	Usinado / Laminado	Folha 1 de 1	



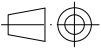

Desenho	Frozza	Data	22/05/2023				
Projeto	Frozza	Escala	1:2				
Desenho	Frozza	Material	SAE 1020	Projeto	Trabalho de Conclusão de Curso		
Quantidade	02 unidades	Matéria Prima	Ø4" x 80mm	Título	Bucha Cônica lado inferior		
Tolerância	h8	Unidade	mm	Des N°	07	Revisão	A4
		Não medir sobre o desenho Rebarbar e quebrar arestas agudas		Acabamento	Usinado / Laminado	Folha 1 de 1	



Desenho Frozza	Data 22/05/2023		UTPR	
Projeto Frozza		Escala 1:15		
Desenho Frozza	Material Diversos	Projeto Trabalho de Conclusão de Curso		
Quantidade 01 unidades	Matéria Prima	Título Conjunto Mandrilador Portátil		
Tolerância Barra mandrilar H10 h10 Rolamentos H7 g6 Demais h8	Unidade mm	Des N° 08	Revisão A4	
	Não medir sobre o desenho Rebarbar e quebrar arestas agudas	Acabamento Usinado / Laminado	Folha 1 de 1	



POSIÇÃO	QUANT.	DESIGNAÇÃO	MATERIAL
01	01	Manipulo	Aço SAE 1020
02	01	Fuso	Aço SAE 1060
03	01	Porca com Flange	Aço SAE 1060
04	01	Motor Elétrico	
05	01	Caixa Redutora	
06	02	Flange	Aço SAE 1020
07	01	Chaveta Retangular	Aço SAE 1020
08	02	Bucha Cônica	Aço SAE 1020
09	01	Ferramenta de Corte	Pastilha de Metal Duro
10	01*	Mancal com Rolamento de Inserção	
11	01	Barra de Mandrilar	Aço SAE 1045
12	05	Parafuso Allen sem cabeça M8x30	
13	12	Parafuso Sextavado M12x40	Aço AISI 4140

Desenho	Frozza	Data	22/05/2023			
Projeto	Frozza	Escala	1:10			
Desenho	Frozza	Material	Diversos		Projeto	Trabalho de Conclusão de Curso
Quantidade	01 unidades	Matéria Prima			Título	Conjunto Mandrilador Portátil Perspectiva e Lista de Peças
Tolerância	Barra mandrilar H10 h10 Rolamentos H7 g6 Demais h8	Unidade	mm	Des N°	09	Revisão A4
		Não medir sobre o desenho Rebarbar e quebrar arestas agudas		Acabamento	Usinado / Laminado	
						Folha 1 de 1