

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA**

LEANDRO RICKEN

**PROPOSTA DE UM DISPOSITIVO PARA AUXILIAR NA USINAGEM
EM ROTAÇÃO DE 30.000 RPM NA FRESADORA FERRAMENTEIRA
DO LABORATÓRIO DE USINAGEM**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Ponta Grossa - PR
2017**

LEANDRO RICKEN

**PROPOSTA DE UM DISPOSITIVO PARA AUXILIAR NA USINAGEM
EM ROTAÇÃO DE 30.000 RPM NA FRESADORA FERRAMENTEIRA
DO LABORATÓRIO DE USINAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, do Departamento de Mecânica / DAMEC, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de Carvalho.

PONTA GROSSA - PR

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica



TERMO DE APROVAÇÃO

**PROPOSTA DE UM DISPOSITIVO PARA AUXILIAR NA USINAGEM EM
ROTAÇÃO DE 30.000 RPM NA FRESADORA FERRAMENTEIRA DO
LABORATÓRIO DE USINAGEM**

por

LEANDRO RICKEN

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 21 de agosto de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de Carvalho
Orientador

Prof. Dr. Davi Fusão
Membro Titular

Prof. Me. Francisco Emílio Dusi
Membro Titular

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares
Responsável pelos TCC

**Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de
Carvalho**
Coordenador do Curso

– O Termo de Aprovação assinado encontra-se no Departamento de Registros Acadêmicos da UTFPR – Campus Ponta Grossa -

Dedico este trabalho a minha família, pelo integral apoio na superação das adversidades, por toda confiança dedicada, assim como pelas renúncias pessoais por eles realizadas, que viabilizaram o cumprimento de minha jornada, desde o início da graduação até a realização dos meus objetivos profissionais.

AGRADECIMENTOS

A Minha família pela oportunidade de estudar, pelo apoio na realização de diversos cursos de aperfeiçoamento, que permitiram a conquista de meus objetivos profissionais e pessoais.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de Carvalho, pela dedicação na confecção deste trabalho, pela generosa disponibilidade para tratar da elaboração e principalmente para me ajudar a superar todos os desafios encontrados durante a realização dos objetivos.

Agradeço aos meus orientadores da Iniciação Científica Aldo Braghini Junior e Alexandre de Castro Alves, por toda confiança e conhecimento dedicado nos dois anos de realização do projeto, os quais fizeram diferença em minha vida acadêmica e profissional.

Agradeço a todos os professores, amigos e colegas que participaram de minha vida acadêmica, por todo companheirismo, pelo apoio e força recebidos em todos os momentos da graduação.

RESUMO

RICKEN, Leandro. **PROPOSTA DE UM DISPOSITIVO PARA AUXILIAR NA USINAGEM EM ROTAÇÃO DE 30.000 RPM NA FRESADORA FERRAMENTEIRA DO LABORATÓRIO DE USINAGEM.** 2017. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

Este trabalho apresenta uma proposta de um dispositivo para auxiliar na usinagem em altas rotações. Foi realizado um procedimento experimental para comprovar a impossibilidade de usinagem com ferramenta de pequeno diâmetro no laboratório de usinagem da UTFPR campus Ponta Grossa. Posteriormente foi desenvolvido um dispositivo baseado em metodologias e ferramentas de desenvolvimento de produto, por fim um protótipo foi construído com o objetivo de se determinar a viabilidade da usinagem com ferramentas de pequeno diâmetro no laboratório de usinagem.

Palavras-chave: Desenvolvimento de produto. Fresa. Micro usinagem. Micro furação. Cabeçote Extrusor.

ABSTRACT

RICKEN, Leandro. **Proposal for a device for aid the laboratory machining in rotation above 30.000 rpm.** 2017. 49 p. Work of Conclusion Course (Graduation in Mechanical Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2017.

This paper presents a proposal for a device to aid in machining at high rotations. An experimental procedure was performed to prove the impossibility of machining with a small diameter tool in the machining laboratory of UTFPR campus Ponta Grossa. Later, a device was developed based on methodologies and tools of product development, finally a prototype was built with the objective to determine the viability of the machining with tools of small diameter in the laboratory machining.

Keywords: Product development. Milling machine. Micro machining. Micro drilling. Extruder head.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desenho esquemático Cabeçote de Extrusão	13
Figura 2 - Furadeira CNC	16
Figura 3 – Portfolio de Desenvolvimentos	20
Figura 4 – Modelo de referência.....	24
Figura 5 – Versões do modelo de referência	33

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Bico do Cabeçote de Extrusão.....	13
Fotografia 2 – Fixação inicial da chapa.....	29
Fotografia 3 – Segunda fixação da chapa.....	30
Fotografia 4 – Mandril da fresadora e broca	30
Fotografia 5 – Teste preliminar.....	35
Fotografia 6 – Broca de 0,4mm	35
Fotografia 7 – Brocas quebradas	36
Fotografia 8 – Tupia Router.....	37
Fotografia 9 – Cone modelo do eixo arvore	38
Fotografia 10 – Suporte da tupia usinagem ortogonal.....	39
Fotografia 11 – Suporte da tupia primeira usinagem.....	39
Fotografia 12 – Suporte da tupia segunda usinagem.....	40
Fotografia 13 – Mandril da tupia.....	40
Fotografia 14 – Protótipo do dispositivo	41

LISTA DE SÍMBOLOS

D_1	Diâmetro da ferramenta medido em milímetros	[mm]
n	Rotação do eixo-árvore	[rpm]
V_c	Velocidade de corte	[m/min]

LISTA DE SIGLAS

3D	Formato tridimensional
ABS	Acrilonitrila butadieno estireno
CNC	Controle numérico computadorizado
FDM	Fused Deposition Modeling
PDP	Processo de desenvolvimento de produtos
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 JUSTIFICATIVA	11
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 Objetivo Geral	11
1.2.2 Objetivos Específicos	11
2 REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
2.1.1 Bico Extrusor de Impressora 3D.....	12
2.2 USINAGEM	14
2.2.1 Processo de Furação	14
2.2.2 Tipos de Brocas	15
2.2.3 Equipamento e Parâmetros de Furação.....	16
2.3 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.....	17
2.3.1 Processo de Desenvolvimento de Produto.....	18
2.3.2 Planejamento Estratégico do PDP	19
2.3.3 Atributos do PDP	20
2.4 MODELOS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.....	23
2.4.1 MODELO UNIFICADO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.....	24
2.5 PRINCÍPIOS E FERRAMENTAS DA CRIATIVIDADE	24
2.5.1 Brainstorming.....	26
3 MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1 ENSAIOS DE FURAÇÃO	28
3.1.1 Planejamento	28
3.1.2 Pré-teste e Dificuldades	29
3.1.3 Procedimento de Medição de Vida útil da Ferramenta.....	31
3.2 PROJETO DO DISPOSITIVO DE FURAÇÃO	31
4 RESULTADOS	34
4.1 RESULTADOS DA FURAÇÃO PRELIMINAR.....	34
4.2 RESULTADOS DA CONTRUÇÃO DO DISPOSITIVO	36
4.2.1 Dispositivo Rotativo	36
4.2.2 Confecção do Cone.....	37
4.2.3 Confecção do Suporte.....	38
4.2.4 Medições de Perpendicularidade e Centralização	42
5 CONCLUSÃO	43
6 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS	44
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

O Desenvolvimento de produto é uma importante metodologia para propagação de novas soluções e aperfeiçoamento de ideias já existentes, podendo também ser aplicada em inúmeras situações, sendo empregada para desenvolvimentos de varias naturezas, desde pequenas adaptações até confecção de produtos inéditos.

No âmbito do desenvolvimento de dispositivos para usinagem, é necessário o entendimento de alguns conceitos, o primeiro é a compreensão do processo de fabricação por usinagem, abordado sucintamente neste trabalho, assim como algumas de suas características e limitações do processo. Estas limitações podem ser específicas, como é o caso da micro usinagem, em que ferramentas de pequenos diâmetros são utilizadas para manufatura de produtos, sendo a aplicação de ferramentas de pequenos diâmetros normalmente relacionada com a necessidade do emprego de altas rotações no processo.

Atualmente o processo de micro usinagem é inviabilizado no laboratório de usinagem da UTFPR, devido às características dos equipamentos de usinagem disponíveis, que não atingem as rotações normalmente necessárias para o processo de micro usinagem.

A necessidade de desenvolvimento de um dispositivo de micro usinagem acessível é justificado pela crescente popularização de impressoras 3D, em que se tem o bico extrusor como uma das peças de mais difícil fabricação, devido aos desafios do seu processo de fabricação. A utilização de dispositivo que permitam emprego de altas rotações tem papel importante em estudos que visam o refinamento do bico extrusor, melhorias no desempenho do bico extrusor poderiam contribuir para o avanço da tecnologia de impressoras 3D.

A confecção de um dispositivo capaz de realizar micro usinagem em elevadas rotação nas dependências do laboratório da UTFPR, tem também relevância justificada pela fomentação de novas pesquisas acadêmicas na área da micro usinagem, abrindo um novo horizonte, assim como permitir a fabricação e melhoria do bico extrusor já mencionado.

Para tornar possível o desenvolvimento de produtos, a utilização de metodologias se mostra importante, devido a sua segregação de etapas e

orientação no desenvolvimento, podendo ser observado desde o surgimento da necessidade até a fabricação do protótipo, conforme abordado neste trabalho.

1.1 JUSTIFICATIVA

Pretende-se realizar usinagem com ferramenta de 0,4mm nas dependências do laboratório de usinagem da UTFPR câmpus Ponta Grossa. Quando instrumentos de corte de pequeno diâmetro são utilizados, comumente faz-se necessário galgar altas rotações para atingir velocidade periférica de corte suficiente para realizar a usinagem, dependendo também do material a ser usinado. No laboratório têm-se fresadoras CNC e convencionais que atingem rotações máximas de 6000 e 4500 rpm respectivamente. Isto posto, pretende-se desenvolver dispositivo auxiliar que viabilize a usinagem com rotações próximas de 30.000 rpm.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Utilização de metodologia de Desenvolvimento de Produto para projeto e fabricação de um dispositivo auxiliar que viabilize a usinagem com rotação na faixa de 30.000 rpm.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Estudar o processo de Desenvolvimento de Produto.
- Fabricar um dispositivo auxiliar que viabilize a utilização de uma *router* com rotação na faixa de 30.000 rpm.
- Verificar a viabilidade da furação de latão com brocas de 0,4 mm de diâmetro.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Faz-se necessário iniciar a revisão da literatura com uma breve contextualização sobre a micro usinagem e a geometria do bico do cabeçote da impressora 3D, para que o leitor compreenda os desafios da fabricação assim como o procedimento experimental que fomentou o tema deste trabalho.

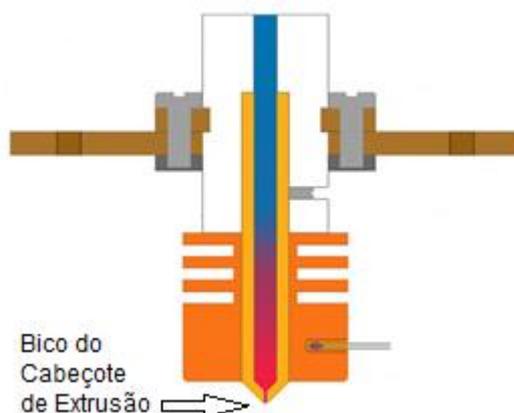
2.1.1 Bico Extrusor de Impressora 3D

A manufatura aditiva é um processo de fabricação de produtos, a partir de um modelo tridimensional computadorizado, onde sobreposição de sucessivas camadas ocorre à formação do objeto final. O processo de manufatura aditiva tem como finalidade produzir uma peça ou produto em sua versão final, ou muito próxima dela. A manufatura aditiva tem a característica de se contrapor aos processos tradicionais de fabricação, por não se utilizar de um meio moldante, ou não realizar remoção de material, desta forma se caracteriza a manufatura aditiva como um processo de Prototipagem Rápida (VOLPATO, 2015).

Dentre os processos de Manufatura Aditiva, destaca-se o FDM, do inglês *Fused Deposition Modeling* ou, do português, Modelagem por Deposição de Material Fundido, em que se tem a deposição de material, na maioria das vezes polimérico, por meio de um extrusor. O material é fundido no cabeçote extrusor, que tem liberdade para depositar o material em três dimensões (eixos x, y, z). Filetes de materiais muito finos são depositados sobre uma plataforma, formando camadas, de modo que a sobreposição de camadas forma a geometria do sólido almejado. Os materiais mais comuns são o poliéster, polipropileno, ABS, elastômeros e cera (GORNI, 2001).

O entendimento do princípio de funcionamento do cabeçote de extrusão é importante para evidenciar os desafios de fabricação de uma peça com diâmetro de 0,4 mm. De acordo com a Figura 1 abaixo, pode-se observar o desenho esquemático de um cabeçote extrusor.

Figura 1 – Desenho esquemático Cabeçote de Extrusão



Fonte: Adaptado de 3D Printing (2015).

Essencialmente podem-se considerar duas regiões do cabeçote de extrusão, a superior onde o filamento se encontra no estado sólido, sendo tracionado, passando por uma região intermediária até o bico extrusor através de um furo de 0,4 mm, no qual o processo por deposição ocorre através do escoamento do polímero fundido.

A parte final do cabeçote, o bico extrusor, possui a característica de possuir um pequeno orifício, como se pode ver indicado na Fotografia 1. Este elemento possui um estreitamento em seu corpo, sendo o material forçado a escoar por orifício de pequeno diâmetro, comumente de 0,4 mm. O material normalmente utilizado para fabricação de bicos extrusores normalmente é uma liga de Latão. Pode-se ver mais detalhadamente o bico extrusor na Fotografia 1.

Fotografia 1 - Bico do Cabeçote de Extrusão



Fonte: Adaptado de robotdigg.com

O desafio do processo de fabricação está justamente no orifício de saída do material polimérico, já que se trata de um orifício de 0,4 mm em seu diâmetro mais comum. Vale salientar ainda que existem bicos extrusores com diâmetros ainda menores, de 0,3 mm e até 0,2 mm.

2.2 USINAGEM

A usinagem é caracterizada pelo movimento de corte composto pelo sistema formado entre máquina e ferramenta, de modo que ocorra um deslocamento relativo entre a peça e a ferramenta aliado a rotação, forçando o material da peça sob a ferramenta e a conseqüente remoção do cavaco. O autor Stemmer (2005) define estes parâmetros como:

Movimento de corte: É o movimento principal produzido manualmente ou pela máquina-ferramenta, sendo o deslocamento relativo entre a peça e a ferramenta, forçando o material da peça sob a face da ferramenta. Em furadeiras e fresas o movimento é produzido pela rotação da ferramenta.

A velocidade de corte está relacionada com o movimento de corte e é definido como V_c sendo a velocidade instantânea do movimento principal, no ponto selecionado do gume. Só é possível remover material no movimento de corte em forma de cavacos por mais de uma rotação ou curso, se houver um movimento de avanço, conforme veremos a seguir.

Movimento de Avanço: Pode tanto ser produzido manualmente como da relação máquina-ferramenta, com o objetivo de promover um deslocamento relativo adicional entre a peça e a ferramenta, no qual quando somado ao movimento de corte, leva a remoção efetiva e contínua de cavacos e a geração de uma superfície usinada com as características geométricas desejadas. Este movimento pode ocorrer por degraus ou continuamente. Em qualquer caso, ele absorve usualmente uma pequena proporção da potência total necessária para executar a operação de usinagem.

2.2.1 Processo de Furação

O processo de furação é largamente utilizado na fabricação de peças. A ampla utilização se dá pelo fato da grande maioria das peças serem integradas de

alguma forma com outras estruturas ou partes, usualmente peças são furadas em sua forma acabada ou ocorre o alargamento de furos até suas dimensões finais (DINIZ et al., 2008). O Interligamento de partes em um mecanismo, na maioria dos casos, ocorre através da utilização de parafusos, destacando a importância do processo de furação.

Observa-se que a furação ocorre em função de um movimento relativo da ferramenta e peça, de modo que a ferramenta entra em contato com a peça com uma rotação e com um avanço em direção à peça. O avanço da ferramenta juntamente com sua rotação unida à geometria, muitas vezes helicoidal, da ferramenta faz com que o material seja retirado da peça em forma de cavaco. A norma DIN 8589 caracteriza a furação como um processo de usinagem com movimento de corte circular, sendo que, o avanço ocorre na direção do seu eixo de rotação, que mantém sua posição em relação à ferramenta e a peça (CASTILLO, 2005).

Os processos de furação são normalmente classificados como se segue abaixo com o intuito de se facilitar o estudo e a aplicação de soluções tecnológicas nos diversos casos que se apresentam na indústria.

O processo de furação encontra grandes desafios devido a sua natureza, de acordo com Bork (1995) existem características que geram dificuldade como:

- A variação da velocidade de corte na ferramenta, sendo que se tem velocidade máxima na periferia e velocidade tendendo a zero em seu centro;
- A dificuldade de expulsar o cavaco é significativa da região de corte;
- A fragilidade dos gumes de corte, expostos a um grande desgaste;
- Atrito nas paredes do furo e o próprio cavaco.

2.2.2 Tipos de Brocas

A geometria de brocas tem grande influência na furação especialmente quando levamos em consideração a resistência mecânica dos materiais metálicos, desta forma é importante definir a ferramenta através dos ângulos de cunha cortante (SILVA, 2010).

Os autores Stemmer (2005) e Ferraresi (2006) conceituam os tipos de broca existentes. Dentre as brocas classificadas pelos autores, destaca-se a broca helicoidal, utilizada neste trabalho.

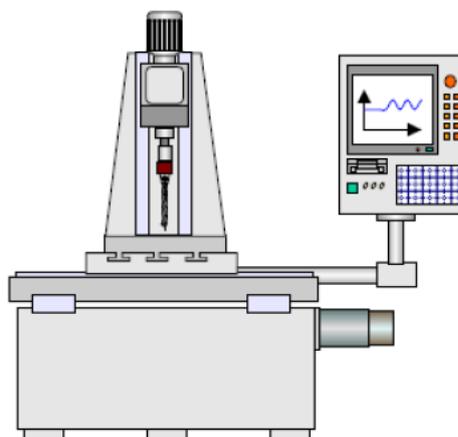
Broca helicoidal: é a ferramenta mais utilizada no processo de furação. Tem como material de fabricação geralmente o aço-rápido, em alguns casos com revestimento superficial de metal duro ou em metal duro maciço.

A broca helicoidal tem uma geometria específica muito conhecida na usinagem, possui superfícies e gumes de corte muito bem definidas, de acordo com Oliveira (2008) “há dois gumes na parte ativa da ferramenta constituídas pelas cunhas de corte, formadas pela intersecção das superfícies de saída e folga e pelo gume transversal que devido ao movimento de avanço se torna uma parte integrante do gume principal”.

2.2.3 Equipamento e Parâmetros de Furação

O equipamento de furação tem ampla variedade de aplicações em usinagem e é muito utilizado para obtenção de furos, podendo ser classificados como Manual ou Automático. As furadeiras são divididas em Portáteis, de coluna, de bancada, radial e horizontal. Furadeiras CNC são equipamentos com grande tecnologia embarcada, basicamente funcionam da seguinte forma: Informações são recebidas pela entrada de dados, os quais são compilados em linguagem de máquina, sendo então enviadas em forma de comandos a atuadores que irão realizar o movimento de furação. A seguir na figura 2 é apresentada a furadeira CNC.

Figura 2 - Furadeira CNC



Fonte: SILVA (2010).

No âmbito da usinagem, mais especificamente na furação, tem-se Velocidade de corte de acordo com Stemmer (2005):

$$V_c = \frac{\pi D_1 n}{1000} [m/min] \quad (1)$$

Onde D_1 é o diâmetro da ferramenta medido em milímetros, n é a rotação do eixo arvore em rotações por minuto e V_c é a velocidade de corte expressa em m/min.

O autor ainda aponta que os possíveis avanços dependem do tipo de material da peça e do diâmetro da broca. Os avanços são dados em mm/rot, se situam usualmente entre 0,5% para materiais tenazes e brocas grandes e 2% para materiais macios e brocas pequenas.

Em relação às condições de trabalho recomendadas para brocas helicoidais, Stemmer (2005) aponta que a velocidade corte para a furação do latão pode variar de 65 m/min a 100 m/min, o autor indica também que a usinagem pode ser realizada a seco, ou seja, sem o uso de fluidos de corte, apesar do processo de furação ser comumente auxiliado por fluidos de corte.

2.3 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

O Desenvolvimento de Produtos em países em desenvolvimento como o Brasil, muitas vezes ocorre por meio de parcerias, de modo a consolidar uma competência local, dando continuidade a alguns desenvolvimentos já em curso, cabendo a fatia brasileira atualizar e adaptar produtos mundialmente atuais para o próprio país e outros países em Desenvolvimento. A responsabilização de etapas é uma prática comum no Brasil principalmente em função da capacidade técnica e da aptidão de manufatura local, porém o fornecimento global também pode ser considerado como uma prática, principalmente pelo emprego do conhecimento da tecnologia local e de vantagens competitivas no desenvolvimento de alguns produtos, se opondo ao desenvolvimento totalmente centralizados na matriz, desta forma um país se responsabiliza por parte do processo de desenvolvimento que não seria tão bem executado ou conduzido em outro local (ROZENFELD, 2006).

A descentralização tem o benefício de alocar o desenvolvimento de acordo com a competência de cada unidade ou país, otimizando assim o desenvolvimento como um todo. O Brasil leva certa vantagem em relação a outros países em desenvolvimento, já que se tem observado que, em relação aos outros países em desenvolvimento, o Brasil apresenta custo competitivo e vantagens quanto a qualificação técnica, tornando o país atrativo, ainda mais quando se compara o custo de desenvolvimento de países europeus e a desvalorização monetária ocorrida desde 2015.

Desta forma fica evidenciada a necessidade de desenvolvimento de produtos em seus diversos níveis, aproveitando vantagens competitivas, podendo ser suportado ainda pela aplicação de modelos de desenvolvimento de produto para este fim, podendo ser em desenvolvimento de produtos inéditos até adaptação, melhorias e pequenas alterações, que por meio da aplicação de metodologias pode concorrer de maneira orientada e mais assertiva.

2.3.1 Processo de Desenvolvimento de Produto

O Processo de Desenvolvimento de Produtos pode ser compreendido como um grupo de atividades, geralmente orientadas em sequência, em que se busca alinhar as necessidades dos clientes ou voz do mercado com oportunidades e restrições tecnológicas, ainda se alinhando com estratégias do grupo desenvolvedor, de modo a atingir a confecção de um produto que seja fabricável por processos de manufatura, encontrando assim as necessidades do mercado (ROZENFELD, 2006).

O desenvolvimento de produtos compreende várias etapas e abriga o ciclo de vida do produto, sendo os produtos normalmente modificados depois de seu lançamento, com o objetivo de melhorar ou adequar a uma nova realidade. Alguns cenários podem ser modificados até mesmo durante o processo de desenvolvimento de produtos, após seu lançamento, como restrições legais. Este movimento pode ser exemplificado por obrigatoriedades de novas tecnologias, nas quais são constantemente exigidas por leis e diretrizes governamentais, tais como leis que aumentam a segurança de usuários ou reduzem níveis de poluição, este tipo de ação acaba de certa forma fomentando processos de desenvolvimento de produto.

O PDP está localizado em uma região entre as empresas e o mercado, sendo este processo fundamental para intermediar os interesses do mercado com a

capacidade de desenvolvimento das empresas, dado que além de fornecer soluções tecnicamente viáveis, o processo precisa ser economicamente atrativo e ter valor percebido pelos seus potenciais clientes. Uma das principais características do PDP é identificar as necessidades dos clientes avaliarem as possibilidades tecnológicas, desenvolvendo assim um produto que atenda as expectativas do mercado tanto em termos de qualidade, como minimização do tempo de desenvolvimento, para que o produto esteja disponível no menor tempo possível. (ROZENFELD 2006).

A melhoria de produtos existentes faz parte do escopo do PDP, tem grande importância para o desenvolvimento das empresas nos dias de hoje, uma vez que o ciclo de vida dos produtos vem diminuindo gradativamente, em um ambiente tão dinâmico, alterações são cada vez mais comuns para manter o ritmo de vendas em alta, sendo percebido pelo consumidor como uma nova versão melhorada, embora muitas vezes o desempenho do produto redesenhado seja altamente similar à versão anterior em alguns casos.

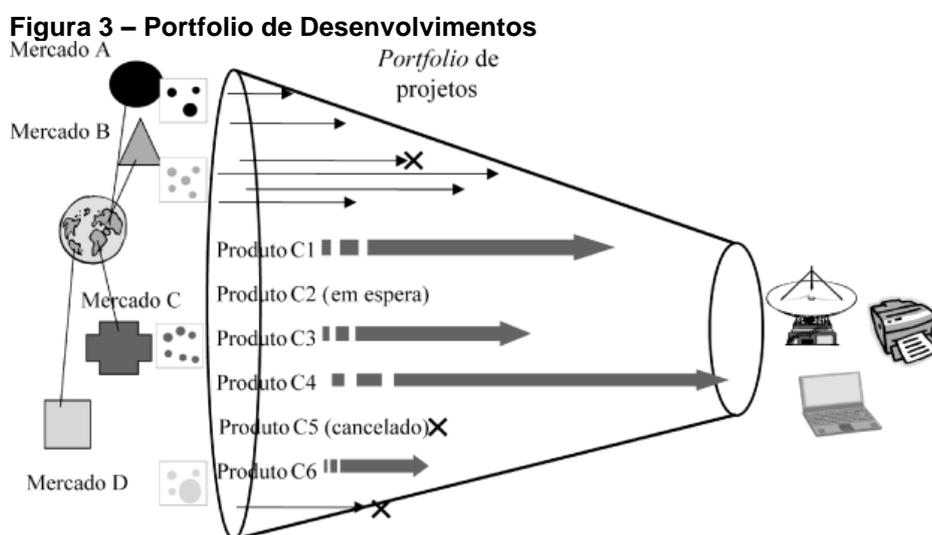
Com a obsolescência cada vez mais acelerada de produtos, observada especialmente nas últimas décadas, se observa um avanço contínuo em desempenho e um decréscimo na durabilidade dos produtos, estas características somadas, ressaltam a necessidade de desenvolvimentos de engenharia mais rápidos e eficazes. Características como a necessidade de agilidade torna o processo cíclico de desenvolvimento de produto cada vez mais comum e corriqueiro. Observam-se também cenários de baixa previsibilidade, onde a alta necessidade de soluções criativas precisam atender um mercado incerto. Todas estas características, reforça a necessidade de práticas de gestão de PDP. A gerência nunca se mostrou tão importante ao longo da história sob o ponto de vista de novos desenvolvimentos e atualizações cada vez mais correntes, através da execução, planejamento e ferramentas de controle e atividades, empresas vem buscando maiores desempenhos, melhores lições de aprendizagem assim tendem a conquistar melhores resultados (ROZENFELD, 2006).

2.3.2 Planejamento Estratégico do PDP

O planejamento estratégico é entendido como todo o envolvimento de produtos da empresa assim como a sua relação com o mercado, sendo que para cada mercado se utiliza uma linha de produtos específicos, este conjunto de

produtos também é conhecido como portfólio da empresa, sendo este formado por todos os produtos em planejamento, em desenvolvimento e aqueles que estão sendo comercializados no mercado.

O planejamento estratégico é fundamental para orientar as decisões tomadas a nível gerencial pelas empresas, partindo desta visão geral dos produtos da empresa, é possível selecionar produtos para determinados mercados, e uma de suas principais funções é orientar futuros lançamentos, cobrindo possíveis lacunas no portfólio das empresas, como desenvolvimento de novos equipamentos, melhoria ou atualizações de produtos em produção para atender necessidades de mercado.



Fonte: Adaptado de ROZENFELD (2006).

A Figura 3 exemplifica o funil formado a partir do portfólio. O funil tem início no pré-desenvolvimento, onde se considera as estratégias das empresas. O Desenvolvimento é representado pelo corpo do cone, sendo mostrados os produtos desde C1 até C6 em diferentes níveis de desenvolvimento, isto só evidencia a possibilidade de vários desenvolvimentos simultâneos, desde que estes desenvolvimentos estejam alinhados com os objetos e estratégias da empresa. O Pós-desenvolvimento é representado após o cone e mostra o acompanhamento dos produtos lançados.

2.3.3 Atributos do PDP

Alguns processos empresariais ocorrem com grande frequência, como ordens de produção ou processamentos financeiros, já o PDP não ocorre com tanta frequência nas empresas quando comparado com processos rotineiros. Cada projeto apresenta particularidades próprias, que podem se repetir ou não, assim seu histórico ocorre de maneira única para cada caso. O PDP embora seja liderado por um grupo pequeno de pessoas nas empresas, afeta direta e indiretamente todos os setores da companhia, devido a necessidade de construção do produto, venda e suporte técnico, além de planos de marketing e vendas, desta forma para um eficaz PDP ocorrer é necessário a integração de todos os setores da empresa, assim informações e decisões devem estar acessíveis aos seus respectivos níveis de influência, já que cada área precisa colaborar com suas responsabilidades, tudo isto reforça a importância do PDP e ressalta a integração necessária para maior assertividade no lançamento de produtos (ROZENFELD, 2006).

Em PDP maduros, a probabilidade de sucesso assim como o retorno financeiro é mais facilmente atingida, sendo a maturidade alcançada por meio de planejamento assim como execução e controle das etapas do PDP, gerando assim eficiência na geração de resultados satisfatórios para as empresas, sendo estes resultados gerados de forma constante e independentes de profissionais específicos, reafirmando a maturidade do processo (QUINTELLA, 2007).

As etapas iniciais do PDP são fundamentais para a confecção do produto, para isto ser possível é necessário encontrar alternativas de solução para resolver a situação problema previamente apresentada para o time de desenvolvedores (ROZENFELD, 2006).

O time de desenvolvedores precisa conhecer técnicas de fabricação, formas de se idealizar, assim como materiais de fabricação e tecnologias a serem empregadas nos produtos, já que nas etapas iniciais são definidas as soluções que além de resolver o problema irão impactar em viabilidade técnica e econômica.

O início do desenvolvimento é marcado por um período de incertezas, uma vez que do processo de criação, muitas soluções podem ser geradas, na maioria das vezes, várias soluções competem entre si com pequenas diferenças, porém em geral apenas uma ideia final é desenvolvida, com o objetivo de manter-se o foco no processo de desenvolvimento. Outra característica igualmente marcante do PDP é a necessidade da tomada de decisão, já que o processo precisa ser orientado, desde o desenvolvimento, as soluções tem influência até além do lançamento do produto,

já que estes serão afetados pelas decisões tomadas nas etapas iniciais do projeto. (ROZENFELD, 2006).

Baxter (2003) enfatiza a necessidade do afinamento de decisões, afirmando que isto é atingível através de metas claras, específicas e concisas, em todas as etapas do processo de desenvolvimento de produto, o autor ainda aponta as vantagens de menor aporte financeiro nas etapas iniciais, frequentes em função do alto risco e grandes incertezas que são observadas em etapas iniciais sendo possível nas etapas subsequentes alocar aporte financeiro em ferramentaria de projetos ou confecção de protótipos.

Uma vez tomadas decisões, é pouco provável que estas mudem, é comum que diversos setores façam parte do desenvolvimento, desta forma faz-se necessário um alinhamento, organização esta que é regida pelas decisões tomadas durante o projeto, outro exemplo é a quantidade de recursos empregados, ressaltando a necessidade de seguir as diretrizes levantadas nas etapas iniciais, uma vez que mudar de rumo pode significar novos investimentos.

Outra característica do PDP é enorme quantidade de informações que são geradas no desenvolvimento, sendo que estas precisam ser organizadas e armazenadas a fim de criar um histórico, seguindo como lições aprendidas para outros desenvolvimentos, tanto das ações bem-sucedidas como das ideias que não deram certo, assim como uma análise dos motivos que levaram estas situações a ocorrer (ROZENFELD, 2006).

A interdisciplinaridade é também peça chave na boa condução do PDP, evidenciado pela participação dos vários atores de diversos departamentos, fazendo assim com que pessoas de distintas competências e distintas visões do produto e dos negócios sejam capazes de tomar decisões conjuntas entre si, com o objetivo do bem comum da corporação. As equipes multidisciplinares também favorecem a visão do ciclo de vida do produto, considerando muitas variáveis, como processo de fabricação, impacto nos recursos naturais, necessidades dos clientes, responsabilidade social, tem sido fatores considerados além do desenvolvimento propriamente dito. Desenvolver produtos pode significar ir além de propor soluções viáveis tecnicamente, estas soluções precisam ser úteis e respeitar uma série de aspectos percebidos pelos clientes.

De acordo com Rozenfeld (2006), tem-se no PDP pelo ponto de vista de projeto e design, a etapa de ciclo iterativo de:

- a) **Projetar:** Compreende a busca pela solução mais adequada para resolver o problema proposto, assim como determinar parâmetros de construção do produto.
- b) **Construir:** É representado pela materialização do produto, que ocorre na maioria das vezes por intermédio de protótipos, que podem ser iguais a solução final ou representar conceitos ou funções a serem compreendidas pelo produto final a ser lançado.
- c) **Testar:** Etapa fundamental para avaliar a efetividade das soluções criadas, por meio de testes é que se assegura a função do produto proposto assim como seu desempenho.
- d) **Otimizar:** Após a etapa de prototipagem e teste, comum entente alteram-se os produtos, devido a uma melhor percepção e avaliação gerada pelo protótipo, deste modo o produto final geralmente tem funções otimizadas que não estavam presentes nos protótipos porém estarão presentes no produto final a ser lançado.

2.4 MODELOS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

O Desenvolvimento de Produto é fundamentado na padronização e sequenciamento de atividades, tendo importância significativa para alinhar as ações a serem tomadas para atingir o sucesso na atualização de um produto existente ou desenvolvimento de um produto completamente novo. Dá-se o nome de Modelo de Referência para as metodologias empregadas para suportar o Desenvolvimento de Produto. Modelos de referência quando bem aplicados aumentam a chance de sucesso do desenvolvimento de um produto, a sistematização também apresenta grandes vantagens como o fácil entendimento das atividades necessárias para avançar no modelo de desenvolvimento proposto.

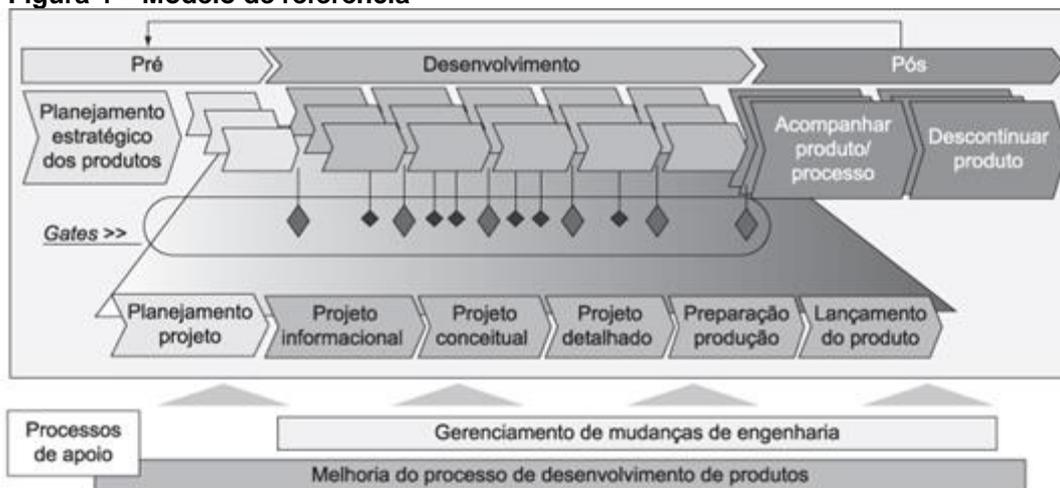
A formalização de modelos de referência propicia uma visão geral para a companhia, de modo que todas as classes de funcionários tenham acesso às informações do desenvolvimento, proporcionando assim uma visão comum desde baixo escalão, alta gerencia e parceiros (ROZENFELD, 2006).

2.4.1 MODELO UNIFICADO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

O Modelo de Desenvolvimento de Produto unificado proposto por Rosenfeld é uma metodologia amplamente utilizada para desenvolvimento de produto, visto que é uma metodologia dividida em fase e presta suporte orientado através de macro fases, fases a atividades.

As macrofases do Modelo de Referência são pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. O que é determinante na sequência é a entrega de resultados, fazendo assim com que se atinja um novo patamar de desenvolvimento, progredindo desta forma até a próxima entrega de resultados e conseqüentemente nova fase. Quando um determinado estágio é atingido, faz-se um fechamento das atividades da sessão, sendo assim, após ocorrer o avançamento da fase, não se pode mais alterar o desenvolvimento anterior.

Figura 4 – Modelo de referência



Fonte: ROZENFELD (2006).

Uma avaliação da fase também é considerada ao fim da mesma, esta avaliação é importante sob o ponto de vista do aprendizado, os resultados avaliados servem como métrica para identificar se os resultados são realmente fidedignos com as metas iniciais assim como avaliar a maturidade do desenvolvimento de produto (ROZENFELD, 2006).

2.5 PRINCÍPIOS E FERRAMENTAS DA CRIATIVIDADE

A criatividade é um processo muitas vezes pouco abordado, porém algumas metodologias e ferramentas podem ser usadas para fomentar e estruturar processos criativos, criando assim uma rotina de novas ideias, e desmistificando o conceito da criatividade como puramente uma habilidade individual.

Segundo Baxter (2003), a criatividade é o coração do *design* e pode ser aplicado tanto para desenvolver soluções inovadoras assim como correções ou pequenas alterações em produtos já existentes, porém, na prática para que o processo criativo seja atingido, o autor expõe a criatividade como um fator que precisa ser levado em consideração, ainda mais quando se considera a complexidade usual de projetos, baseado nisto tem-se os elementos chaves das diversas fases do processo criativo assim como suas respectivas ferramentas descritas pelo autor.

Preparação: Tem como objetivo ajudar a elaborar um mapa do problema, por meio da delimitação de fronteiras do espaço da adversidade, para que a partir de definições simples se consiga operacionalizar a solução, por meio de um objetivo claro, permitindo assim saber quando a solução é encontrada. Para que uma satisfatória preparação do problema seja atingida, faz-se necessário uma indagação de todos os aspectos do problema, não se prendendo a forma com que as questões são apresentadas, evitando restrições que possam atrapalhar o processo. Para orientação da preparação, duas ferramentas podem ser consideradas: Análise Paramétrica e Análise do Problema, quando bem aplicadas, estas ferramentas propiciam melhor abordagem do problema.

É recomendável iniciar a preparação de forma divergente, para que seja possível explorar uma gama maior de aspectos e assim estar aberto a um maior número de alternativas, desta maneira o problema pode ser atacado por vários ângulos. É importante que o problema seja definido de uma forma simples, sendo entendido por todos os membros envolvidos.

Geração de ideias: É considerada a etapa mais importante do processo criativo, essencialmente associar ideias que antes não estavam relacionadas entre si é o que forma este conceito, podendo ser divididas em três categorias principais.

Redução do Problema: Está técnica propõe resolver o problema por intermédio da mudança de alguns aspectos da objeção, por meio do exame de componentes, funções e características da problemática, tentando resolvê-la. Esta

técnica tende a ter um efeito de redução, porque focaliza a atenção no produto existente, não observado outros aspectos.

Expansão do Problema: São buscadas ideias além do domínio do problema, está técnica busca aumentar o horizonte, abrindo um leque de soluções, não se prendendo apenas a aspectos da solução do produto existente.

A seleção da melhor ideia evidencia a necessidade de uma boa preparação, já que para escolher a melhor opção é preciso ter uma boa descrição do problema. A orientação faz com que as ideias geradas podem ser combinadas, gerando uma solução híbrida contendo característica intermediária das ideias iniciais. As ferramentas mais empregadas são a avaliação matricial onde as alternativas são colocadas em colunas e os critérios de seleção em linhas, para que deste modo sejam observados os cruzamentos da solução com os critérios elencados. Outra ferramenta bastante usada é a votação, é a forma mais simples de selecionar ideias, deste modo à alternativa mais votada segue em frente.

2.5.1 Brainstorming

De acordo com Baxter (2003), o *Brainstorming* é uma ferramenta utilizada para o fomento da criatividade, que em linhas gerais tem a capacidade de gerar soluções pelo método da combinação de várias soluções ou propostas geradas coletivamente, com esta técnica podem-se utilizar parcialmente conceitos de várias ideias geradas pelo grupo, a fim de combinar conceitos, formando assim a solução final, o autor ainda descreve a ferramenta do *Brainstorming* em sete etapas, conforme descrito a seguir:

- Etapa 1 – Orientação: É uma fase que deve ser conduzida por um líder da atividade, neste processo se busca indicar o tipo de problema, propondo por escrito, sendo que as fronteiras podem ser restritas assim como amplas.
- Etapa 2 – Preparação: É relativo à busca de informações já existentes no mercado, como existência de concorrentes materiais, processos de fabricação entre outras informações que possam ser interessantes para servirem como estímulo inicial a geração de ideias
- Etapa 3 – Análise: Tem o objetivo de lançar um olhar crítico para as etapas de orientação e preparação, verificando assim se estes itens estão

completos, pode ser utilizada para determinar a causa e efeito do problema.

- Etapa 4 – Ideação: É a etapa mais pulsante do processo, já que as ideias têm origem nesta fase, as ideias são geradas sob a influência do líder, estimulando a criação de ideias na direção pretendida, coibindo julgamentos que devem ser adiados, evitando assim o bloqueio de possíveis ideias. As ideias são comumente geradas pelo modo da combinação aleatória de várias ideias, sendo esta variação causada pelo princípio de analogias.
- Etapa 5 – Incubação: É a etapa posterior ao levantamento de ideias geradas pela equipe, sendo a incubação iniciada no momento de inflexão de ideias, a partir do ponto que se percebe que as ideias estão diminuindo, ou que o grupo está se afastando do caminho conduzido pelo líder em função de estafa de ideias, neste momento, o líder propõe um afastamento deliberado do problema, onde após o período de relaxamento pode surgir a iluminação, podendo inclusive a solução fluir de maneira mais facilitada.
- Etapa 6 – Síntese: É relativo a combinação de ideias, colocando sob a mesma ótica, as ideias encontradas a fim de montar uma ou mais soluções completas para o problema.
- Etapa 7 – Avaliação: Ocorre a apreciação das ideias, utilizando-se como métrica os critérios definidos na etapa de Orientação

Baxter (2003) ainda sugere que estas ideias não precisam ser seguidas com grande rigidez, algumas etapas podem ser retiradas, assim como se podem juntar mais etapas dependendo da natureza do problema, o autor ainda indica que os tópicos mais importantes da ferramenta preparação já que deve ser feito por um membro que conheça em detalhes o problema proposto a fim de responder quais dúvidas aos demais participantes. A visão de um especialista na preparação tende a levar em consideração a grande maioria dos aspectos do problema, assim como a incubação, já que um período de relaxamento pode conceder um tempo importante para organizar e processar as ideias.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A estruturação do trabalho está dividida em duas etapas que seguiram em sequência. Inicialmente foi realizado um ensaio de furação para confecção de furos de diâmetro de 0,4 mm, conforme esperado, foi evidenciado a incapacidade da confecção da furação, devido à baixa rotação atingida pelos equipamentos disponíveis no laboratório quando comparado com as necessidades de elevadas rotações requeridas para micro usinagem. Em seguida utilizaram-se metodologias de desenvolvimento de produto para a confecção de um dispositivo que atingisse altas rotações, a fim viabilizar a usinagem com ferramentas de pequenos diâmetros.

3.1 ENSAIOS DE FURAÇÃO

3.1.1 Planejamento

Para realizar a furação, iniciou-se o trabalho de planejamentos com a verificação dos equipamentos disponíveis no laboratório de usinagem da UTFPR campus Ponta Grossa. Teve-se a disposição uma Fresadora Diplomat 3100. Partindo-se da fresa em questão, avaliou-se a capacidade de rotação da máquina, que é de 4500 rpm. O avanço também foi um parâmetro avaliado, onde se constatou que o avanço automático cobria os valores de 0,04; 0,08 e 0,15mm/rot.

Para a realização do experimento buscou-se brocas 0,4mm no mercado local de Ponta Grossa, porém não se obteve sucesso, então as brocas foram adquiridas por e-commerce. As brocas encontradas no mercado foram fabricadas de metal duro, sendo adquirido um conjunto de 20 brocas helicoidais da fabricante Union Tools e 7 brocas helicoidais com cobertura de Nitreto de Titânio fabricadas por XianFeng precision tools co. Ltd, ambas com haste para mandril de 3,175mm.

Os bicos de impressora 3D são geralmente fabricados de Latão, portanto adquiriram-se duas chapas da Liga de Cobre e Zinco C-268 ½ DURO com dimensão 200x200mm e espessura de 2,1 mm no mercado local de Ponta Grossa.

Para realização dos experimentos, selecionaram-se três faixas de rotação, escolhendo-se iniciar o procedimento com a rotação de 3000 rpm para em seguida utilizar incrementos de 500 rpm até atingir-se a rotação máxima do equipamento que

é 4500 rpm, desta forma poder-se-ia observar a influência da rotação na confecção dos furos.

Escolheu-se prender a peça na morsa da própria fresadora, sendo que foi necessário selecionar dois calços disponíveis no laboratório a fim de servirem como suporte para a furação da chapa.

3.1.2 Pré-teste e Dificuldades

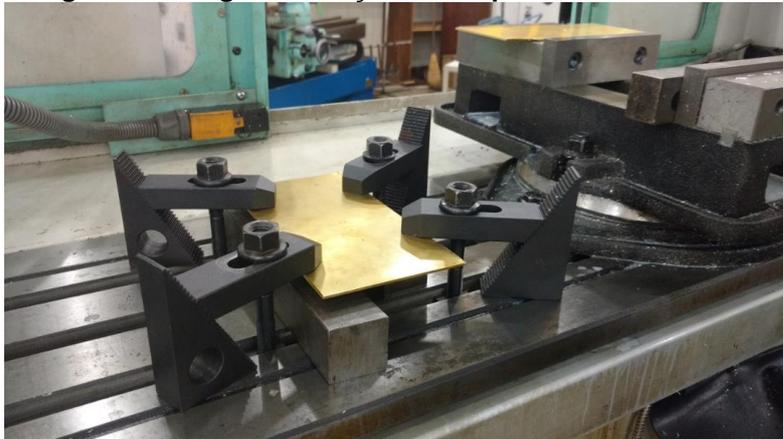
Utilizou-se a fixação da placa por meio de compressão nas laterais, conforme Fotografia 2. Após aplicar a força nas laterais, observou-se que a superfície se mantinha plana aparentemente. Buscou-se evitar a formação de arco, podendo assim fazer com que a ferramenta não penetrasse ortogonalmente a superfície. Realizaram-se duas tentativas de furação com 4500 rpm, porém observou-se a quebra da ferramenta.

Fotografia 2 – Fixação inicial da chapa



Fonte: Autoria Própria.

Escolheu-se um segundo tipo de fixação, devido a chance da placa flambar, fazendo com que a ferramenta não penetrasse ortogonalmente a chapa, então montou-se grampos para fixar a placa em suas quatro extremidades, uma vez que se poderia favorecer a entrada da ferramenta de ortogonal ao plano da placa, optou-se também em reduzir pela metade o tamanho da chapa (100x200 mm) para facilitar a montagem conforme Fotografia 3.

Fotografia 3 – Segunda fixação da chapa

Fonte: Autorial Própria.

A troca de ferramenta se mostrou um desafio, principalmente devido a broca de 0,4 mm ser muito frágil, este fenômeno pode ser observado durante a fixação da broca no mandril da fresa, já que por duas vezes, quebrou-se a broca acidentalmente durante montagem. Devido ao simples fato da mão do usuário encostar acidentalmente na ponta da broca, ocorreu a quebra. Para minimizar o risco de quebra da ferramenta no manuseio, tomou-se a medida de montar a broca fora da fresadora e apertar o mandril no eixo arvore da fresadora com muito cuidado. Vale salientar que em condições de operação repetitiva como foi o caso, além do tempo de usinagem, tem-se um gasto significativo de tempo na troca da ferramenta.

Fotografia 4 – Mandril da fresadora e broca

Fonte: Autorial Própria.

Atribuiu-se uma distância de 4 mm entre os furos, para que se evitasse uma possível influencia de um furo afetar o próximo, ainda mais se considerando o diâmetro do furo com o tamanho da chapa, teve-se material mais que suficiente para realizar os experimentos.

A furação ocorreu sem fluido de corte, devido ao latão ser um material passível de furação sem fluido de corte.

Optou-se por controlar o avanço manualmente, devido ao equipamento utilizado ter avanço mínimo ainda alto, manualmente pode-se empregar menor velocidade de avanço. O menor avanço disponibilizado pela fresadora seria 0,04mm/rot, sendo que o fabricante Uniontools indica um avanço 0,027mm/rot em seu catalogo. Utilizou-se o avanço incremental e por fim o avanço por alavanca para a realização dos experimentos, a fim de identificar a melhor opção.

O procedimento foi iniciado com uma rotação de 3000 rpm utilizando-se a broca sem revestimento, foi observado estalos durante a furação até que ocorreu a fratura da ferramenta, então se encerrou a furação. Em seguida foram repetidos os processos com 4000 e 4500 rpm sendo que o mesmo fenômeno foi observado.

O procedimento foi repetido utilizando-se os mesmos parâmetros, porém utilizou-se uma broca com revestimento de titânio, foi observada também a ruptura da broca em todas as rotações.

Desta forma com ambas as brocas não foi possível realizar a furação da chapa de latão em nenhuma das rotações selecionadas.

3.1.3 Procedimento de Medição de Vida útil da Ferramenta

O Procedimento de medição seria de contagem do número de furos realizados na chapa de Latão em cada rotação selecionada.

3.2 PROJETO DO DISPOSITIVO DE FURAÇÃO

O projeto do Dispositivo de furação foi desenvolvido baseado nas metodologias de desenvolvimento de produto, principalmente nas metodologias propostas pelos autores Baxter (2003) e Rozenfeld et al. (2006).

O desenvolvimento do produto se deu pelo início do pré-desenvolvimento por meio de um planejamento estratégico, posteriormente consolidou-se as

informações sobre tecnologia e mercado a fim de se determinar as fronteiras para precisar o escopo do produto a ser desenvolvido, já que o escopo contém as características de funcionamento do produto a ser idealizado.

Após a determinação do escopo, adaptou-se o modelo de referência proposto por Rozenfeld a fim de otimizar o desenvolvimento baseados nas características deste projeto. A solução para o problema foi baseada nas ferramentas de geração de ideias proposta por Baxter, desta forma foi possível materializar o dispositivo de furação.

No planejamento estratégico, se pretendeu avaliar a capacidade atual do laboratório em atingir rotações elevadas, em torno de 30.000 rpm, comumente utilizadas no trabalho com ferramentas de pequeno diâmetro.

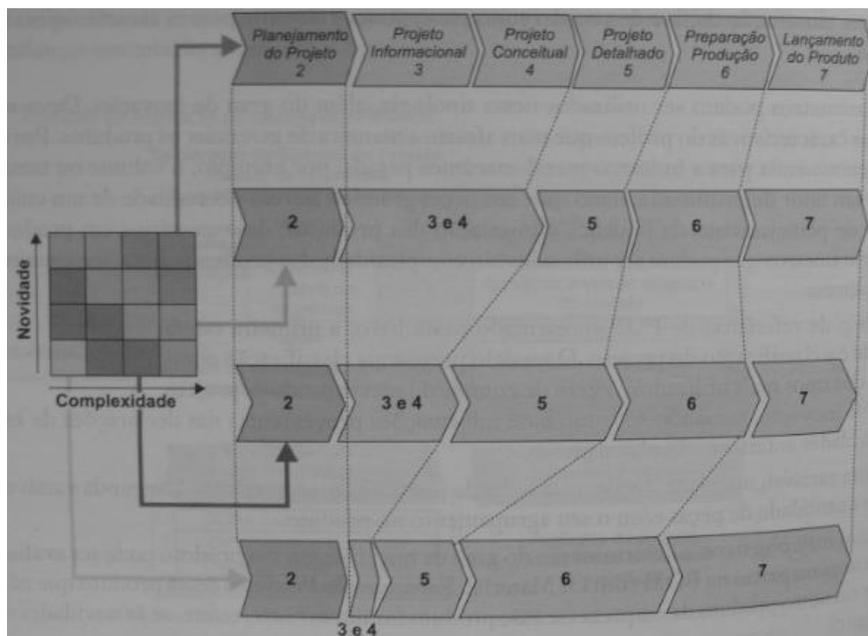
Da análise dos equipamentos presentes no laboratório de usinagem, percebeu-se a oportunidade de desenvolver um equipamento de baixo custo capaz de trabalhar em rotações na faixa de 30.000 rpm. Avaliaram-se alguns equipamentos disponíveis no mercado, porém o custo elevado tornou-se um impeditivo para a aquisição de um equipamento capaz de atingir estas rotações para realizar os experimentos. Baseado nas informações de tecnologia disponíveis buscou-se determinar o escopo do produto a ser desenvolvido.

O escopo do produto deveria conter três características fundamentais:

- Atingir 30.000 rpm.
- Possuir mandril de 3,15 mm.
- O eixo de furação deveria ser ortogonal e centralizado ao plano horizontal.

O Desenvolvimento do produto se deu pela adaptação do modelo proposto por Rozenfeld conforme pode ser observado na Figura 5 a seguir.

Figura 5 – Versões do modelo de referência



Fonte: ROZENFELD (2006).

Considerando que o produto a ser desenvolvido não possuiria nenhuma função que poderia ser encarada como uma novidade, além de suas funções serem conhecidas e que poderiam ser derivadas de equipamentos e materiais disponíveis, adaptou-se o modelo para baixa complexidade e baixa novidade, desta forma efetuou-se além do planejamento estratégico, o projeto informacional e conceitual de maneira simplificada. Empregaram-se também metodologias e práticas de PDP assim como ferramentas de fomento a criatividade propostas por Baxter (2003).

A ferramenta utilizada para criar as alternativas de solução foi o Brainstorming, sendo a equipe composta pelo autor do trabalho e professor orientador, foram convidados também a participarem da atividade, três alunos que estavam presentes no laboratório durante a busca por alternativas, deste modo a atividade foi composta por cinco integrantes.

Da aplicação das metodologias de desenvolvimento de produto assim como ferramentas de criatividade, desenvolveu-se um protótipo conforme descrito no Capítulo 4.

4 RESULTADOS

Os resultados de dividem em duas partes, a primeira mostrando o resultado das furações preliminares e em sequência o desenvolvimento do dispositivo de furação com rotação na faixa de 30.000 rpm.

4.1 RESULTADOS DA FURAÇÃO PRELIMINAR

O procedimento experimental teve início com o teste da velocidade de avanço da Fresa, foi identificado que mesmo na menor velocidade de avanço, o movimento ocorreu de forma abrupta, de modo a ser necessária grande agilidade para desligar o avanço sem que a haste colidisse com a peça, desta forma decidiu-se por utilizar o avanço manual, para assim ser possível realizar os experimentos.

Foram selecionadas rotações entre 3500 e 4500 rpm para a realização do ensaio no laboratório de usinagem da UTFPR, sendo que durante a realização deste ensaio de furação.

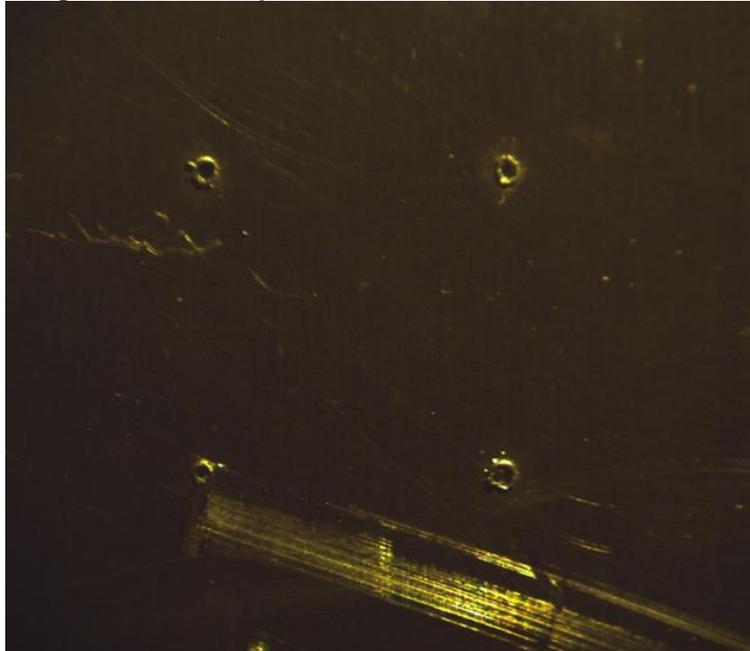
Iniciou-se o primeiro experimento utilizando-se broca de metal duro sem revestimento, nas rotações de 3500, sendo observada a quebra da ferramenta, repetiu-se este experimento nas rotações de 4000 e 4500 rpm, sendo o mesmo resultado observado. Em seguida utilizou-se uma ferramenta de metal duro com cobertura de nitreto de titânio, sendo verificada também a fratura da ferramenta nas mesmas rotações utilizadas no primeiro procedimento.

Após a realização do ensaio, utilizou-se um microscópio a fim de observar as características da região alvo da furação. Visualizou-se a placa conforme Fotografia 5, onde percebeu-se uma região amassada no local da furação, não se verificou indicio de corte, apenas amassamento da região, neste sentido evidenciou-se na prática a ideia da utilização de um equipamento que atingisse rotações mais elevadas, a fim de proporcionar velocidade de corte necessária para usinar o latão, conforme constatado anteriormente com a cálculo da rotação necessária para se atingir velocidade de corte suficiente para a furação, que neste caso seria de 51752 rpm.

Na Fotografia 5 abaixo, pode-se observar o amassamento do material na região da tentativa de corte, com broca helicoidal de metal duro nas rotações de 3500 (Canto superior esquerdo), 4000 (Canto inferior esquerdo) assim como a

furação com a broca de metal duro com cobertura de titânio com rotação de 3000 (Canto superior direito) e 3500 (canto inferior direito).

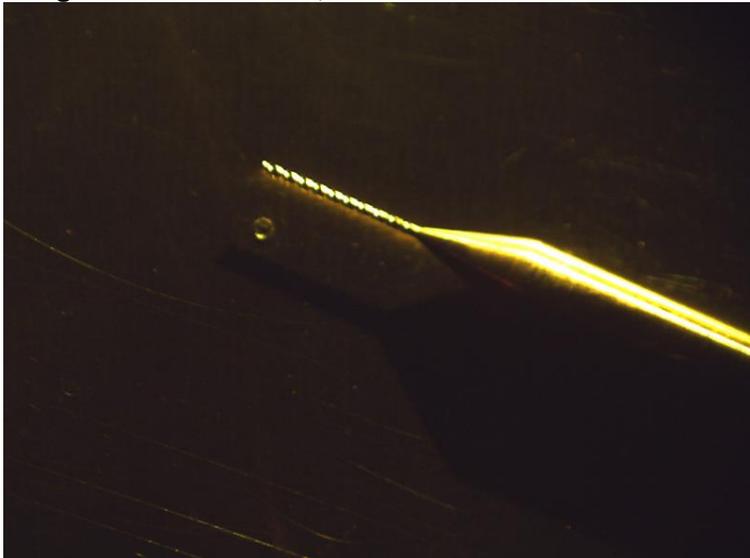
Fotografia 5 – Teste preliminar



Fonte: Autorial Própria.

Observa-se comparativamente na Fotografia 6 o amassamento do material e a broca, sendo observada também a forma esbelta da broca, podendo ser um dos fatores facilitadores da quebra do corpo da broca.

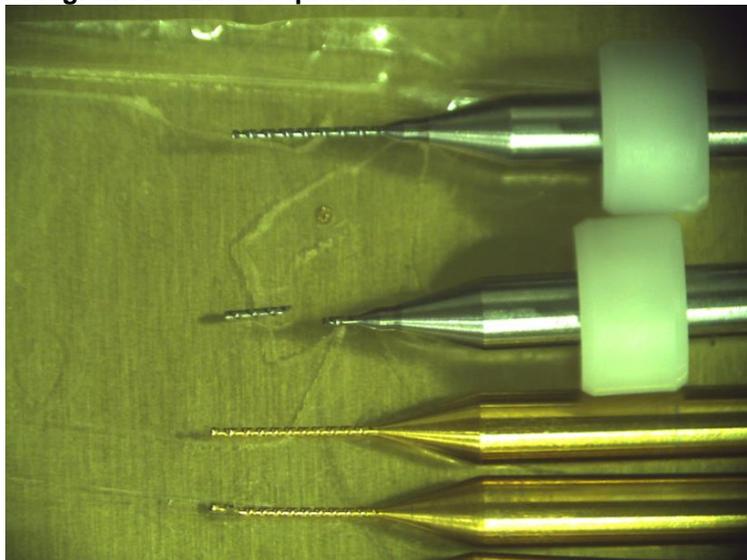
Fotografia 6 – Broca de 0,4mm



Fonte: Autorial Própria.

Na Fotografia 7 a seguir, pode-se observar as brocas quebradas de metal duro assim como as de metal duro com cobertura de titânio, ambas ao lado de brocas novas.

Fotografia 7 – Brocas quebradas



Fonte: Autoria Própria.

Efetuada as análises em microscópio, assim como reuniões para discutir as possíveis causas da dificuldade em usinar latão, elencou-se a velocidade de corte da broca como um dos fatores que poderia ter maior influência no experimento, embasado também pelo cálculo da rotação necessária para usinagem do Latão, sendo a rotação necessária em torno de 50000 rpm para furar este material com uma broca de 0,4 mm de diâmetro.

4.2 RESULTADOS DA CONTRUÇÃO DO DISPOSITIVO

A construção do dispositivo se deu como resultado da elaboração do processo de desenvolvimento de produto, sendo este equipamento disposto em quatro partes principais, a tupa, cone árvore, suporte em formato de L e mandril.

4.2.1 Dispositivo Rotativo

Utilizou-se a Tupa modelo 1800 da marca Skil como eixo do elemento motriz para a confecção do dispositivo, conforme pode ser verificado na fotografia 8.

Utilizou-se a tupia em função da disponibilidade deste equipamento no laboratório. Tem-se como características principais sua alta rotação, atingindo nominalmente 33000 rpm. A tupia Skill apresenta mandril para ferramentas com haste de 6mm.

Fotografia 8 – Tupia Router



Fonte: Skil.com.br

4.2.2 Confeção do Cone

Foi determinada a utilização do eixo arvore da fresa Diplomat 3100 como base para confecção do dispositivo de furação. Para utilização do eixo arvore, foi necessária a confecção de um cone para prender o suporte ao mecanismo de avanço do eixo arvore desta forma por meio do acionamento da alavanca da fresadora foi possível inserir o movimento de avanço ao dispositivo.

A confecção do cone se deu por processo de torneamento, utilizando-se como base o cone original do eixo arvore presente na fresadora Diplomat 3100. Na Figura abaixo é possível observar o cone original da Fresadora, que serviu como base para a confecção do cone do dispositivo.

Fotografia 9 – Cone modelo do eixo arvore

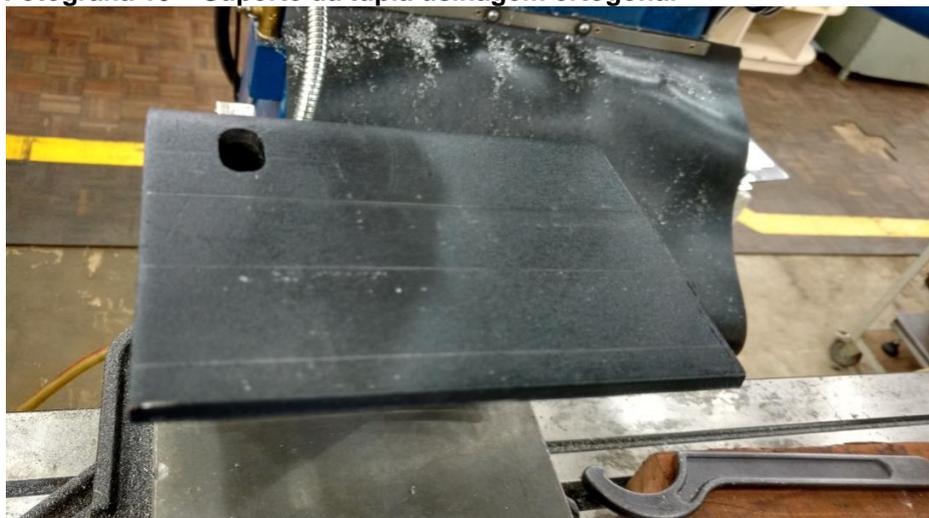


Fonte: Aatoria Própria.

4.2.3 Confeção do Suporte

O Suporte para a fixação da fresa se deu por meio de um perfil fabricado em aço carbono, com espessura de 3/8 pol. Utilizou-se a espessura de 3/8 devido à disponibilidade desta peça no laboratório, sendo que a mesma já estava dobrada, porém não em um ângulo de 90 graus. Para formar um ângulo de 90 graus, mantendo assim a tupa na posição vertical, foi realizado um *Brainstorming*, sendo a ideia escolhida a utilização da própria fresa para criar uma superfície ortogonal. Na Fotografia 9 pode-se verificar a região delimitada para o passe de fresa, desta forma seria possível manter um ângulo de 90 graus entre as superfícies conforme indica as marcações da Fotografia 10.

Fotografia 10 – Suporte da tupa usinagem ortogonal



Fonte: Aatoria Própria.

Uma das dificuldades em fazer o fresamento da superfície foi a vibração, já que se formou um momento de forças devido a forma da fixação da peça, gerando elevado ruído e vibração, pode-se verificar a fixção do suporte conforme Fotografia 11.

Fotografia 11 – Suporte da tupa primeira usinagem



Fonte: Aatoria Própria.

A situação foi contornada mudando-se a fixação do suporte na fresa, através de calços de madeira para absorver melhor as vibrações provenientes do processo de contato da ferramenta com o suporte em fabricação conforme Fotografia 12.

Fotografia 12 – Suporte da tupa segunda usinagem



Fonte: Autoria Própria.

Foi necessário a confecção de um mandril para acoplar a haste da ferramenta de corte, uma vez que a broca a ser utilizada possuía diâmetro de 3,175 mm e a tupa originalmente possuía mandril na dimensão de 6 mm. O resultado da fabricação pode ser observado conforme Fotografia 13.

Fotografia 13 – Mandril da tupa



Fonte: Autoria Própria.

Depois da construção das partes, soldou-se o cone do eixo arvore com o suporte da fresadora, além da fixação da Tupia ao suporte fabricado. A fixação da Tupia no suporte de deu por um furo em uma extremidade e um oblongo na outra extremidade. Isto foi planejado para permitir ajustar a inclinação da tupia, para assim manter da broca na posição vertical através de um ajuste fino. Pode-se observar o resultado da construção do prototipo conforme Fotografia 14.

Fotografia 14 – Protótipo do dispositivo



Fonte: Autoria Própria.

Com a confecção do dispositivo, esperou-se realizar furações em rotações acima de 30.000 rpm, com características de manter a broca centrada assim como posicionada na posição vertical, formando um ângulo de 90 graus com a superfície da chapa a ser usinada.

4.2.4 Medições de Perpendicularidade e Centralização

Utilizou-se o relógio comparador para medir duas características da instalação do equipamento de furação. A primeira característica a ser analisada foi à verticalidade da broca, sendo que foi utilizado o relógio comparador para varrer a broca no sentido longitudinal, verificou-se assim que a broca se encontrava na posição vertical. A segunda característica avaliada foi a centralização da broca. Girou-se a broca acoplada ao eixo da Tupia, a fim de se verificar seu posicionamento. Teve-se como resultado a verificação de um desvio de 0,2mm na centralização da broca.

Identificou-se que o desvio de 0,2 mm seria um valor bastante elevado, ainda mais quando se compara o diâmetro de 0,4 mm, considerou-se ainda como um fator de risco para dificultar a usinagem, uma vez que para a furação ocorrer sem a quebra da ferramenta, seria necessário um bom posicionamento da broca. Em processos como fresamento, este desvio poderia não ser um problema grande dependendo da situação, uma vez que os esforços na ferramenta são laterais, vindo a ferramenta a produzir um canal maior que o esperado.

5 CONCLUSÃO

O estudo do Processo de Desenvolvimento foi alcançado através de pesquisas bibliográficas, sendo os conceitos aplicados, desta forma pode-se observar pela utilização destes conceitos de desenvolvimento do produto, conforme pode ser evidenciado pelo referencial teórico e pela descrição da fabricação do dispositivo protótipo, capaz de atender a micro usinagem em determinadas condições.

A fabricação na forma de um protótipo contribuiu no auxílio da viabilização da utilização de ferramentas rotativas de pequeno diâmetro na faixa de rotações próximas a 30.000 RPM, porem foi observado que o dispositivo não é capaz de realizar furação com ferramentas de 0,4mm da forma como está concebido, no entanto constatou-se capacidade de usinagem com utilização de fresa de 0,7mm, evidenciado pela realização de fresamento com ferramenta de 0,7mm que não foi discutido neste trabalho, em função dos resultados serem publicados no trabalho do autor Marcos Cheremeta, apresentado em seu trabalho de conclusão de curso.

Atribuiu-se a dificuldade de furação com ferramenta com diâmetro de 0,4mm ao batimento da broca, uma vez que se mediu um desvio de circularidade de 0,2mm. Para realizar a furação, seria necessário um ajuste fino na fabricação do mandril da broca, para assim eliminar ou reduzir o batimento da broca a níveis adequados, desta forma acredita-se ser possível à utilização do dispositivo para a aplicação de ferramentas com de 0,4mm de diâmetro.

6 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Da abordagem dos objetivos propostos, observou-se algumas sugestões de trabalhos futuros que poderiam vir a contribuir com a melhoria do desempenho do dispositivo de auxílio a usinagem em rotações na faixa de 30.000 rpm, assim como novos estudos poderiam ser realizados por meio da utilização do dispositivo. Destacam-se sugestões conforme descritas a seguir:

- Melhorar a centralização do furo para fabricação do mandril do dispositivo a fim de reduzir o batimento da ferramenta.
- Efetuar melhorias no sistema de fixação do dispositivo.
- Utilização do dispositivo com ferramenta para elaboração de estudos de micro usinagem.
- Elaborar estudos que abordem outros parâmetros de usinagem, como o avanço e potencia de corte em altas rotações com a utilização do dispositivo.
- Criação de um dispositivo para controle do avanço

REFERÊNCIAS

3D PRINTING. **FDM Extruder Hot Ends with Inductive Heating**. 2015. Disponível em: <<https://3dprinting.com/3dprinters/fdm-extruder-hot-ends-with-inductive-heating/>>. Acesso em: 17 out. 2016.

BAXTER, Mike. **Projeto de Produto: Guia Prático para o Design de Novos Produtos**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2000. 260 p.

CASTILLO, Willan Jefferson Gonzáles. **Furação Profunda de Ferro Fundido Cinzento GG25 com Brocas de Metal-Duro com Canais Retos**. 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

DINIZ, Anselmo Eduardo; COPPINI, Nivaldo Lemos; MARCONDES, Francisco Carlos. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 6. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2008. 255 p.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1970. 751 p.

GORNI, Antonio Augusto. Introdução à prototipagem rápida e seus processos. **Revista Plástico Industrial**, São Paulo, ano 3, n. 31, p.230-239, mar. 2001. Mensal.

MARQUES, Fernando Michelin. **Avaliação do desempenho de brocas helicoidais de aço rápido revestidas na usinagem de ferro fundido nodular GGG50**. 2012. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

NOVASKI, Olívio. **Contribuições ao processo de furação com brocas helicoidais**. 1996. 131p. Tese (livre-docência) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP.

OLIVEIRA, Valter Vander de. **Influência da geometria de brocas na furação do ferro fundido vermicular**. 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

QUINTELLA, Heitor Luiz Murat de Meirelles; ROCHA, Henrique Martins. Nível de maturidade e comparação dos PDPs de produtos automotivos. **Produção**, Niterói, v. 17, n. 1, p.199-217, jan./abr. de 2007.

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

SILVA, Hélio Antônio da. **Influência do ciclo de furação na usinabilidade do ferro fundido cinzento GH190**. 2010. 300 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

STEMMER, G. E.. **Ferramenta de Corte I e Ferramenta de corte II: brocas, alargadores, ferramentas de rosca, brochas, rebolos e abrasivos**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1992. 314p.

STOETERAU, Rodrigo Lima. **Fundamentos dos Processos de Usinagem**. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/aulas/PMR2202-AULA_RS1.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2016.

TEIXEIRA, Cleiton Rodrigues. **Influência dos erros geométricos de afiação nas brocas helicoidais de aço rápido na qualidade dos furos produzidos**. 1995. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.