

DESENVOLVIMENTO DE UMA FRESADORA PARA MANUTENÇÃO DE PEÇAS EM AUTO MECÂNICAS DE PEQUENO PORTE¹

Bruna de Carli²
Bruno Turmina Guedes³
Igor Schmidt⁴
Paulo Miguel de Toni⁵

RESUMO

O processo de desenvolvimento de novos produtos confere as organizações maior vantagem competitiva. Nesse sentido, o presente artigo tem como objetivo desenvolver uma fresadora para manutenção de peças em auto mecânicas de pequeno porte, tendo em consideração um baixo custo de fabricação. A implementação deste novo equipamento na empresa trará maior manutenibilidade e possibilidade de desenvolvimento de novas peças. Seus parâmetros construtivos foram norteados de acordo com a ferramenta Desdobramento da Função Qualidade (desdobramento da função qualidade (QFD)) realizada com dados gerados a partir do Núcleo de Auto Mecânicas da ACIP de Pinhalzinho (SC). Este trabalho contempla algumas etapas do projeto informacional, ao passo que utiliza a ferramenta desdobramento da função qualidade (QFD), e também o projeto conceitual do equipamento, sendo que para a prototipagem utilizou-se conceitos do *Design-to-Manufacturing* (DfM). A metodologia utilizada se configura em hipotético-dedutiva. Dentre os resultados obtidos obtivemos a máquina fresadora com seu protótipo físico montado, tendo ela condições de operar com algumas restrições de materiais e tamanhos.

Palavras-chave: Fresadora. Desdobramento da função qualidade (QFD). Mecânicas. Peças.

1 INTRODUÇÃO

A busca por soluções industriais exige cada vez mais profissionais capacitados e maquinários adequados. No ramo automotivo a competitividade só aumenta, motivada pelo mercado globalizado e acirrado, exigindo que as indústrias e empresas se adequem em seus processos produtivos e ofereçam qualidade em seus produtos e serviços (BENTO, TAMBOSI, ROCHA, 2011).

A indisponibilidade de peças de reposição para a compra, resulta em maior prazo de entrega por parte dos fabricantes ou distribuidores. Soma-se a isso a inviabilidade econômica de auto mecânicas de pequeno porte manter um estoque de determinadas peças de reposição, principalmente por conta dos vários modelos de veículos e variedade de fabricantes.

¹ Artigo Científico apresentado com requisito para obtenção do título de Engenheira Mecânico

² UCEFF Faculdades. Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica. E-mail: brunadecarli.bdc@gmail.com

³ UCEFF Faculdades. Especialista em Engenharia Mecânica. E-mail: brunoguedes@uceff.edu.br

⁴ UCEFF Faculdades. Mestre em Engenharia de Materiais. E-mail: igor@uceff.edu.br

⁵ Docente do curso de Engenharia Mecânica UCEFF. E-mail: paulomiguel@uceff.edu.br.

Nesse sentido, uma possível solução para a obtenção destas peças, seria a fabricação por adição ou remoção de material, como exemplo, as máquinas CNC, uma vez que elas fornecem precisão e qualidade (MACIEL, 2016).

No outro lado desta cadeia está o consumidor, que anseia por soluções rápidas, com isso, força as empresas, mesmo as com porte pequeno e capital de giro menor, busquem por maquinários eficientes para a fabricação e reparo de peças. Entretanto as máquinas necessitam de alta tecnologia, geralmente com um valor de compra elevado (BRAGAGNOLO, 2018).

Por não ter uso em grande escala, como é o caso de indústrias, não é necessário investir em uma máquina ferramenta de usinagem comercial, no modelo de controle numérico computadorizado (CNC), pelo seu investimento *versus* tempo de recuperação. Surge então a necessidade do desenvolvimento e execução de uma máquina de usinagem CNC, mas com custos menores e um *payback* mais rápido.

As máquinas de usinagem tipo fresadoras CNC que se encontram no mercado têm um custo elevado de aquisição, impossibilitando o investimento para organizações de pequeno e médio porte, como o caso das oficinas auto mecânicas, fazendo com que o *payback* para a auto mecânicas seja a longo prazo, dependendo da situação, a baixa demanda acarreta na inviabilidade do investimento.

Objetivando a resolução mais rápida do problema veicular apresentado pelo cliente, a partir do processo de desenvolvimento de produtos, criar uma máquina de usinagem CNC para ser utilizado em auto mecânicas, de modo a fabricar a partir do processo de usinagem fresamento, peças de baixa complexidade.

Assim, o objetivo geral da pesquisa é desenvolver uma fresadora de pequeno porte para fabricação de peças automotivas de reposição, de pequena complexidade. Para tanto, a primeira etapa da pesquisa consiste em identificar as necessidades das auto mecânicas, a partir da ferramenta de desenvolvimento Desdobramento da Função Qualidade (QFD). A partir desta etapa, conceituar a fresadora usando a prototipagem virtual, com o intuito de validar o conceito e as soluções desenvolvidas e por fim, gerar o protótipo físico da fresadora este detalhado a partir da técnica DfM (*Design for Manufacturing* ou design de manufatura), e conduzir os testes iniciais.

Sendo assim, o presente trabalho está distribuído da seguinte forma: primeiro, uma revisão de literatura sobre Desenvolvimento de produtos, Desdobramento da Função Qualidade (QFD), Usinagem, Controle Numérico Computadorizado (CNC). Segundo, os materiais e métodos, bem como a metodologia será discutida. Em seguida, a apresentação do projeto e em

seguida, a apresentação do projeto e discussões embasadas na literatura serão mostradas, e por fim, as conclusões finais serão expostas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O desenvolvimento de produto, na visão empresarial, é assimilado como uma atividade em que os pontos de vistas dos profissionais envolvidos, com diferentes formações, sejam reunidos e multiplicados em um único projeto. Os profissionais de engenharia, por sua vez, têm percepções diferentes do que é o desenvolvimento de produto, neste caso, o foco é a funcionabilidade e praticidade do produto final (CUNHA, 2008).

Nas etapas de projetos alguns procedimentos devem ser abordados, tais eles como ferramentas que auxiliam na busca de soluções para que atendam as reais necessidades, como função da qualidade e o *Design for Manufacturing* (ROSENFELD *et al.*, 2010).

Portanto, esta seção do trabalho será seccionada em duas partes, sendo que a primeira abordará os aspectos intrínsecos/específicos de desenvolvimento de produtos, e a segunda parte tratará do fim principal sobre o qual o produto será desenvolvido.

2.1 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Qualquer objeto desenvolvido pelo homem é considerado um produto, seja arruela, parafuso, ou o que for, o que os distingue são os processos e metodologias durante sua criação e execução (ROMEIRO, 2006). O desenvolvimento de produtos consiste nas tarefas, atividades e decisões que envolvem um processo de elaborar ou melhorar um produto já existente (MACHADO, 2015).

Em virtude das mudanças aceleradas no gosto dos consumidores, tecnologias e também no aumento da concorrência o desenvolvimento de produtos é de suma importância para as empresas, pois com ele é possível torná-las mais competitivas no mercado (TEIXEIRA, 2014). Antes de iniciar o desenvolvimento de produtos é necessário vincular à fatores externos, como por exemplo, mercado de comercialização e estratégias competitivas (MENDES, 2008).

Para realizar o desenvolvimento de produtos com excelência é necessário implementar um ciclo de troca de informações e correlação com diversas áreas da empresa e também utilizar ferramentas que irão auxiliar esse processo (TOLEDO, 2008).

Segundo Teixeira (2014), esse processo de desenvolvimento de produtos ocorre em múltiplos setores como por exemplo, desenvolvimento de softwares, segue a mesma linha de raciocínio e processos de um produto de Engenharia. Toda essa metodologia é desencadeada por tomada de decisões, planejamento e satisfazer as exigências dos clientes.

As ferramentas são o ponto inicial de um projeto, aliadas a elas, devem ser utilizadas várias técnicas e princípios científicos, sob tudo, criatividade (CARRETTA, 2019).

Essa etapa é que irá nortear o projeto e aprimorar produtividade do PD. Existem diversas ferramentas que compõem a teoria de desenvolvimento de produtos e estas são usadas conforme a necessidade da organização ou do time de desenvolvimento. É imprescindível a aplicação correta de técnicas e ferramentas, para que gere inúmeros resultados positivos e competitivos para a empresa (AZEVEDO; POLITANO, 2009).

Segundo Rosenfeld *et al.* (2010), existem ferramentas que estruturam a elaboração do processo de desenvolvimento de produtos (PDP). As ferramentas mais usuais para elaboração de PDP que Rosenfeld *et al.* (2010) citam são: *Quality Function Deployment* (DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE (QFD)), *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA), *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA), e projeto robusto.

O processo de desenvolvimento tem suas etapas alternadas conforme o grau de precisão, tempo ao mercado e ajustado conforme a necessidade do projeto e do cliente. Por isso, neste trabalho utilizaremos as seguintes ferramentas de desenvolvimento: Desdobramento da Função Qualidade (QFD), *Design for Manufacturing* (DfM).

Em consonância com os autores supracitados, tais ferramentas maximizam o processo de decisão, intrínseco ao desenvolvimento de produtos. Enquanto que a ferramenta Desdobramento da Função Qualidade (QFD) está focada em traduzir a voz do cliente em dados de engenharia, por outro lado, o projeto DfM potencializará a transformação do projeto conceitual em um produto de fácil construção.

2.1.1 Desdobramento da Função Qualidade

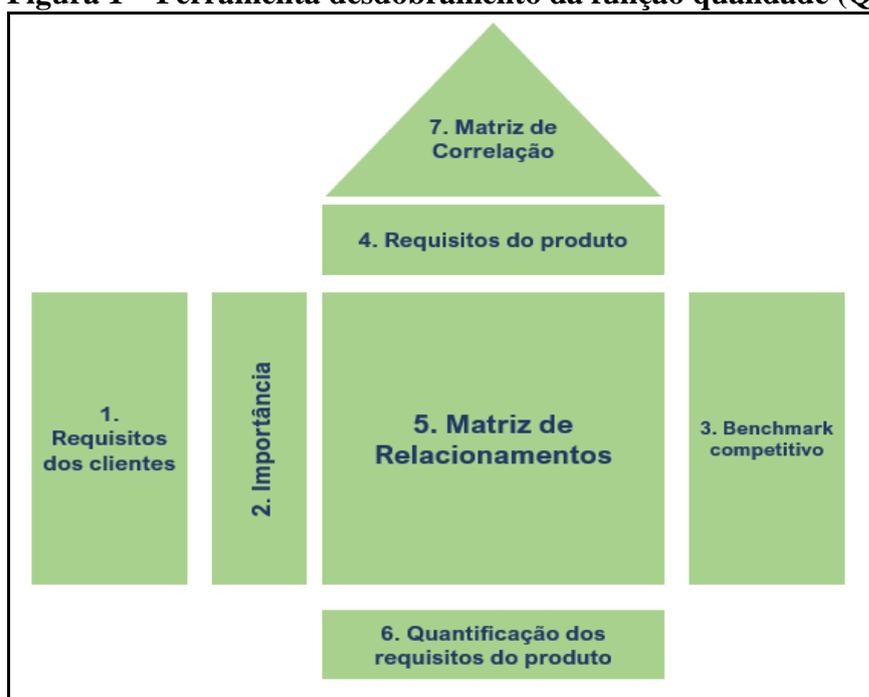
O Desdobramento da Função Qualidade () é uma ferramenta desenvolvida em 1970 no Japão e se difundiu em 1990. É através dele que os projetistas buscam respostas sobre diferentes definições sobre o produto a ser desenvolvido. Estabelece relação das necessidades dos clientes e requisitos do projeto, registra dados de *benchmarking*, traz as especificações necessárias através das definições de valores-meta que estão relacionados aos requisitos do projeto e avalia

os atritos entre os requisitos de projeto e as dificuldades técnicas aliadas a cada requisito (ROSENFELD *et al.*, 2010).

O desdobramento da função qualidade (QFD) surgiu com o objetivo amplificar a satisfação do cliente e evoluir o processo produtivo. Essa ferramenta é aplicável no desenvolvimento e aperfeiçoamento de produtos, serviços e processos (UJIHARA *et al.*, 2006).

Conforme Figura 1 a seguir, a ferramenta desdobramento da função qualidade (QFD) é composta pelas seguintes etapas: requisitos dos clientes, importância benchmarking competitivo, requisitos do produto, matriz de relacionamentos, quantificação dos requisitos do produto e a matriz de correlação. Vale mencionar, no entanto, que o detalhamento de cada etapa da ferramenta será melhor explorado nesta pesquisa na seção materiais e métodos, uma vez que a ferramenta é uma metodologia de projeto.

Figura 1 – Ferramenta desdobramento da função qualidade (QFD) (Casa da Qualidade)



Fonte: Rosenfeld *et al.* (2010).

O crescimento e abertura de novos mercados ampliam a competição entre empresas, para ver quem desenvolve o melhor produto, e com isso, se faz indispensável o uso do desdobramento da função qualidade (QFD) (PASQUINI, 2013).

Segundo Pasquini (2013), o desdobramento da função qualidade (QFD) é constituído por uma conexão entre a organização e o mercado consumidor. Para se obter um resultado plausível é necessário ter gestão nas atividades de planejamento, controle e aperfeiçoamento e também integração entres os colaboradores de diversas áreas que estão envolvidas.

Em geral, projetos que utilizam a ferramenta desdobramento da função qualidade (QFD) sensibilizam vários setores de uma empresa, pois envolvem desde custos á comparações de mercado, requisitos á necessidades do cliente e do produto. Nesta etapa é fundamental que todo time que participará “compre” a ideia do projeto, para que ele seja executado da melhor maneira possível. Entre algumas áreas que englobam o desdobramento da função qualidade são marketing, engenharia, manufatura, distribuição e desenvolvimento (UJIHARA *et al.*, 2006).

A aplicação pode ser empregada em diversos ramos de atuação, como por exemplo, efetuar novos programas de treinamento e até alterar alguns existentes (PASQUINI, 2013). Já Silva (2016) cita que o desdobramento da função qualidade (QFD) pode ser aplicado também em fábricas de válvulas automotivas.

2.1.2 Design for Manufacturing (DfM)

O conceito de que o *Design for Manufacturing* (DfM), para Rosenfeld *et al.* (2010), se caracteriza como a busca feita durante o projeto, para facilitar a manufatura dos componentes que irão integrar o produto após sua finalização, como por exemplo, a manutenção, inspeção, reparo, padronização, ergonomia, estética e confiabilidade, visando custos, qualidade e produtividade. Carvalho e Matias (2017), por sua vez, no trouxeram que o DfM é uma metodologia, criada em 1970, que tem foco na redução de custos e tarefas.

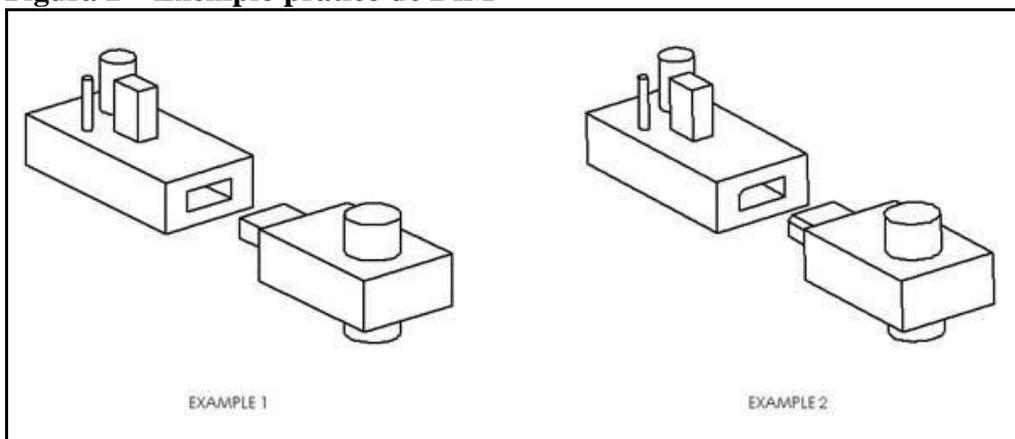
Na busca de redução de custo e tempo para o PD desenvolvimento de produtos o DfM é a ferramenta que busca a integração entre os setores de projetos e manufatura, e também, propõem aprimorar a fabricação dos componentes (BIESEK, 2018).

Através de equipamentos disponíveis na empresa é possível instituir ou requalificar tolerâncias, acabamentos, geometrias e outras *features*. Tornando o *Design for Manufacturing* mais seguro, econômico e prático (ROSENFELD *et al.*, 2010).

Souza *et al.* (2017) um exemplo de aplicação do DfM é utilizar ele em um comedouro automático para cães. O projeto visa eficiência e simplicidade, e sendo um produto inovador nesta área, com liberação e bloqueio de ração.

Enginnering desing solutions (2021) exemplifica de forma prática o que é o DfM, conforme Figura 2. Os dois exemplos da figura a seguir são similares, a diferença está nos detalhes, no primeiro exemplo o encaixe pode ser feito de qualquer forma, já no segundo, onde o DfM foi aplicado, há um chanfro em um dos cantos da aba do suporte e outro na peça que será encaixada, facilitando a montagem e realizando-a de forma correta.

Figura 2 – Exemplo prático de DfM



Fonte: Enginnering desing solutions (2021).

O DfM permite que o projeto de produto seja eficiente em sua fabricação e montagem.

2.2 USINAGEM

No contexto de fabricação mecânica, no qual justamente o produto deste trabalho está situado, existem diversas tecnologias para a produção de itens mecânicos. Assim, a seção a seguir abordará o processo de usinagem. Para isto, trataremos do contexto histórico, bem como as definições, funcionamento, características técnicas e em específico, a máquina-ferramenta de fresamento.

2.2.1 Definições de Usinagem

Usinagem é um processo de fabricação na qual é retirado material, conhecido como cavaco, ou também pode ser entendida como um processo que ao final forma uma peça, com dimensões e acabamento, produzindo cavaco. A fabricação é transformar matérias primas através de etapas em produtos acabados e bem organizados, desde a estética até sua praticidade. Cavaco é o material retirado pela ferramenta com formas irregulares (MACHADO; ENSSLIN; ENSSLIN, 2015).

Segundo Fracaro (2017), existem dois modelos de usinagem, a usinagem com ferramentas de geometria de corte definida (torneamento, furação, fresamento, serramento, aplainamento, limagem, brochamento, escovamento, rasqueteamento) e a usinagem com

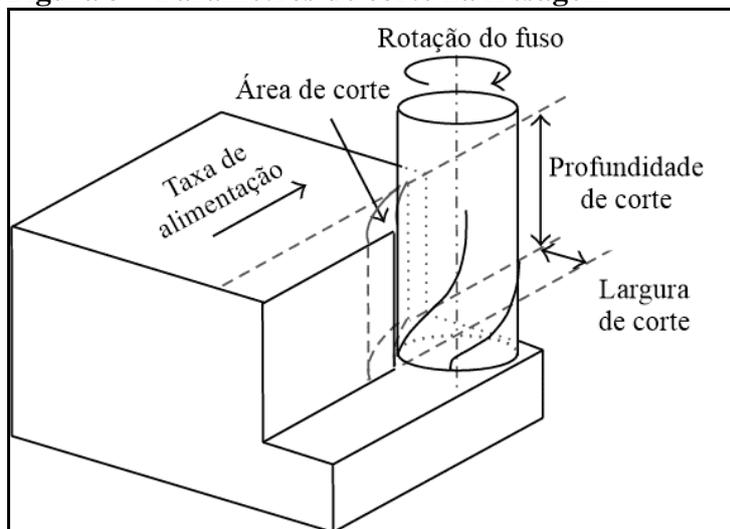
ferramentas de geometria de corte indefinida (retificação com rebolos, brunimento, lapidação, jateamento, abrasivos em geral). Neste trabalho abordaremos especificamente o fresamento.

Os parâmetros de corte influenciam diretamente na qualidade e eficiência da usinagem, conseqüentemente, aumentando a vida útil da ferramenta (HOU *et al.*, 2015).

Conforme Figura 3, os parâmetros de usinagem são:

- Rotação do fuso (rpm);
- Área de corte (mm);
- Taxa de alimentação (mm/min máx);
- Profundidade de corte (mm);
- Largura de corte (mm).

Figura 3 – Parâmetros de corte na fresagem



Fonte: Adaptado de Hou *et al.* (2015).

Segundo Hou *et al.* (2015), a velocidade de revolução do fuso origina a velocidade da aresta de corte em relação à peça de trabalho. A velocidade de corte está vinculada diretamente à durabilidade da ferramenta, o ideal é manter uma velocidade média, caso ela seja muito baixa ou muito alta era diminuir drasticamente a vida útil.

A profundidade de corte é a quantia que o instrumento adentra na peça com medida perpendicularmente ao plano de trabalho, já a largura de corte é a quantia que o instrumento adentra na peça com medida no plano de trabalho e perpendicular à direção de avanço (KRELLING, 2021).

A profundidade de corte é um dos principais parâmetros a serem analisados antes de iniciar o corte, pois é ele que garante a eficiência no desbaste na usinagem por meio da fresadora (PD STUDIO, 2021).

Por fim, para Hou *et al.* (2015), a taxa de alimentação é a velocidade do movimento de alimentação do corte ferramenta em relação à peça no processo de fresamento. Ela influencia diretamente na precisão da usinagem qualidade da superfície, deformação da peça e vida útil da ferramenta diretamente.

Para a usinagem com ferramentas de geometria definida são definidos quatro tipos de matérias para corte, entre eles estão aços-ferramenta, metais duros, cerâmicas de corte e por fim, materiais de corte duríssimos, como nitreto de boro e diamante (FRACARO, 2017).

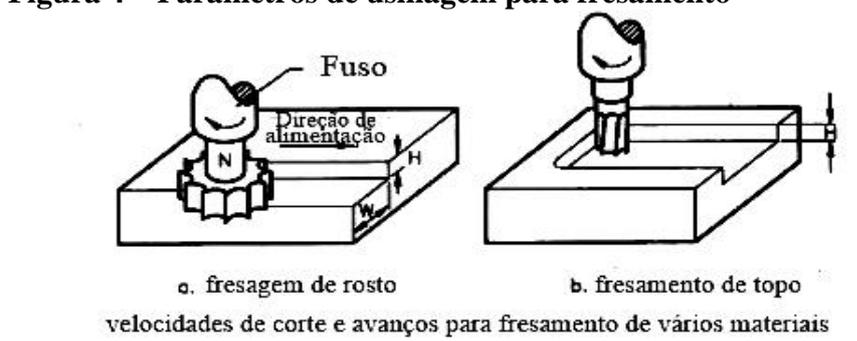
Máquinas de usinagem tipo fresadoras são um dispositivo de movimento contínuo, no qual são removidos cavacos, através de gumes com formato de cunha. Tem como principais características seus movimentos, um deles é a rotação da ferramenta e o outro é o avanço, que é levar a peça até a ferramenta, tornando possível a usinagem (HENNING, 2013).

Yumpu (2021) indica equações para calcular a velocidade de corte e velocidade do fuso (RPM). Com essas equações é possível encontrar a velocidade de corte e rotação por minuto do fuso ideal para o trabalho do dispositivo de usinagem tipo fresadora. A Figura 4 ilustra os Parâmetros de usinagem para fresamento.

A velocidade com que o material é extraído pela aresta de corte é calculada pela equação (1), onde, “D” Diâmetro de corte na profundidade de corte a_p é medido [mm], “n” equivale a frequência de rotação em [RPM], resultando em deslocamento da aresta de corte em direção à peça medido em [m/min].

$$VC = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \quad (1)$$

Figura 4 – Parâmetros de usinagem para fresamento



Fonte: Adaptado de Yumpu (2021).

Segundo Yumpu (2021), as equações seguem um padrão adotado, pode ser feita a alteração do material a ser usinado, por exemplo, mas a equação será a mesma.

2.2.2 Fresamento com polímeros

O polímero é um dos materiais mais veiculados e utilizados no mundo, por ele ser prático, ser de fácil aplicabilidade e ter ampla disponibilidade no mercado. Assim sendo necessário encontrar parâmetros congruentes para a fabricação de peças utilizando polímeros (BOA SORTE, 2020).

A ampla aplicação de polímeros na usinagem é associada ao seu bom resultado final. Com um acabamento excelente, o uso deste material na fabricação de ferramentas e outros dispositivos de peça só cresce (SILVA *et al*, 2016).

Segundo Salles e Gonçalves (2003), os cavacos produzidos durante a fresagem fornecem informações importantes sobre a usinagem. Eles podem ser de duas formas: cavaco contínuo ou cavaco descontínuo. Os cavacos contínuos podem ser produzidos por um grande elástico deformação ou por uma ação de cisalhamento ao longo de um plano de cisalhamento, ocorrendo quando pequenas velocidades de corte são usadas e em materiais com muito esforço. Para obter uma boa qualidade superficial, geralmente é melhor selecionar os parâmetros de corte e a geometria da ferramenta, de forma que ocorra a formação de cavacos contínuos.

Já os cavacos descontínuos podem ser formados quando grandes tensões de compressão são envolvidas ou quando um material quebradiço é usinado. Também pode acontecer quando um termoplástico é usinado em um grande ângulo ou uma grande profundidade de corte. Isso resulta em uma fissura que se estende para baixo na ponta da ferramenta, e o cavaco é produzido pelo momento de flexão, que atua no cavaco depois que a rachadura atinge um certo comprimento (SALLES; GONÇALVES, 2003).

Segundo Diniz, Marcondes e Coppini (1999), a velocidade de avanço (v_f) é a velocidade instantânea da ferramenta que vai de encontro com a direção e sentido do corte, conforme equação 2.

$$V_f = n \cdot fz \cdot Z \quad (2)$$

Onde, respectivamente, “n” equivale a frequência de rotação em [RPM], “fz” se refere a avanço por dente medido em [mm/dente], e por fim, “Z” é o número de dentes, este uma quantidade, portanto adimensional [adm].

A remoção de material em forma de cavaco é conexas com o movimento da ferramenta, que leva em consideração a posição, direção e sentido de corte. Com a Equação 3 pode-se calcular a taxa de remoção de material (DINIZ, MARCONDES E COPPINI, 1999).

Onde “Q” equivale a taxa de remoção de material medido em [mm³/min], “Vf” é a velocidade de avanço medida em [mm/min], “ap” se refere a profundidade de corte medido em [mm] e por fim, “ae” equivale a penetração de trabalho medido em [mm], ou seja:

$$Q = vf \cdot ap \cdot ae \quad (3)$$

O conhecimento dos parâmetros da máquina tem uma atribuição fundamental para entender o que ela é capaz de usar ou não.

2.2.3 Controle Numérico Computadorizado (CNC)

Antes de ser chamado de CNC, em 1950, era chamado de CN (Comando Numérico), era utilizados em máquinas controladas por fitas ou cartões perfurados (BRAGAGNOLO, 2018). Segundo Bezerra (2018), um grande avanço na fabricação dos aviões e material bélico, nos Estados Unidos, iniciou-se a produção de fresadoras controladas numericamente com o intuito de fabricar peças para a construção de aeronaves para a Força Aérea Americana.

Após alguns anos e evoluções, Bezerra (2018) relata que o CNC surgiu para controlar a máquina por computadores, com telas diretas nas máquinas ou por *softwares* através de teclados e outras telas. Fazendo com que a máquina funcione através de controles feitos em programas, lendo, memorizando e executando as ordens passadas ao *software*.

Para iniciar é necessário ter o *G-code*, que é gerado através de softwares, geralmente, programas e sistemas auxiliares do tipo CAD/CAM, é ele que controla os comandos realizados pela máquina-ferramenta, com dados de entrada e saída (LIMA, 2018). As vantagens de se utilizar máquinas com controle CNC são inúmeras, como por exemplo, produtividade maior, boa precisão dimensional, repetibilidade e redução no tempo de usinagem. O planejamento é indispensável nesta etapa, pois é ele que garantirá que a peça fique com as características necessárias (BEZERRA, 2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A forma de abordagem da pesquisa será do modo hipotético-dedutivo, pois ele consiste na formação de hipóteses, que necessitam passar por testes para validar o projeto, incide em tentativas e abolição de erros (RAZUK, 2015).

Quanto aos procedimentos metodológicos, a pesquisa tem natureza aplicada, pois engloba os problemas acerca das atividades, a elaboração de diagnósticos, assimilação de problemas e procura soluções ideias (FLEURY; WERLANG, 2016).

Observando os dados que serão colhidos a abordagem da pesquisa será qualitativa, uma vez que é caracterizada por compreender dados abstratos ou não quantitativos e transformá-los em respostas para soluções de problemas. Em outras palavras, o caráter qualitativo é observado principalmente ao utilizar a ferramenta desdobramento da função qualidade (QFD), que converte as necessidades do cliente em especificações do projeto do dispositivo.

Dados os aspectos abordados anteriormente na justificativa, configura-se a pesquisa como explicativa, com a busca para solucionar a lacuna causada pela falta de um equipamento de baixo custo para fresamento em oficinas auto mecânicas de pequeno porte, podendo assim, acelerar e reduzir o custo da manutenção automotiva em alguns casos específicos.

A técnica de pesquisa utilizada nessa pesquisa consiste em um estudo de caso, uma vez que a partir da teoria de desenvolvimento de produtos será executado o desenvolvimento de um equipamento. Primeiramente executou-se um estudo bibliográfico, para obter conhecimento necessário pra desenvolver o dispositivo de usinagem de forma assertiva. Na segunda etapa se obtiveram os dados de entrada, como na ferramenta desdobramento da função qualidade (QFD), com os requisitos dos clientes, através de uma entrevista estruturada. A terceira etapa consistem em unir o conhecimento com as ferramentas de desenvolvimento e projetar o produto, seguido pela execução e testes.

Para atender todos os objetivos propostos, o trabalho foi dividido em duas fases: projeto informacional e projeto conceitual. Isto de maneira análoga às fases do desenvolvimento de um novo produto. Ressalta-se que o dimensionamento elétrico e mecânico não foi feito.

A primeira fase consistiu no projeto informacional, onde utilizou-se da ferramenta desdobramento da função qualidade (QFD) para entender com clareza o que o cliente busca e necessita na máquina de usinagem tipo fresadora.

A ferramenta do desdobramento da função qualidade (QFD) serve para reconhecer e priorizar os requisitos e necessidades que a máquina de usinagem tipo fresadora deverá conter e definir especificações de projeto do produto (ROSENFELD *et al.*, 2010).

Conforme Rosenfeld et al. (2010), o desdobramento da função qualidade (QFD) foi executado da conforme explicação a seguir. Primeiro, foi estabelecido quem são os consumidores e o que esperam do produto, isto fica localizado na região esquerda da ferramenta desdobramento da função qualidade (QFD), como dados de entrada da ferramenta.

Em seguida, determinou-se a importância de cada um desses requisitos para os clientes, conforme o segundo item. *Benchmarking* foi o próximo passo a ser realizado, com ele o produto do estudo é comparado aos concorrentes, encontrando-se itens a serem melhorados.

Após as melhorias serem situadas, a etapa seguida foi dos requisitos do produto, que demonstra qual a medida e habilidade do produto para atender os requisitos dos clientes.

O próximo passo foi realizar a matriz de relacionamentos, que é baseada na cor entre os requisitos dos clientes com os requisitos do produto. A partir desta etapa a quantificação dos requisitos do produto que se formam as especificações para o produto foi realizada.

O último passo para conclusão da ferramenta desdobramento da função qualidade (QFD) foi o “telhado”, que representa as interações entre os requisitos do produto com um entendimento melhor sobre o produto.

O projeto informacional consiste em entrevistar pessoas que trabalham com usinagem, para entender os requisitos e especificações-meta necessários, determinar padrões de clientes a serem contatados para pesquisas de mercado (ROSENFELD *et al.*, 2010). Com os resultados obtidos, a análise foi feita e em seguida iniciou-se a tomada de decisões sobre como fazer e a definição do formato do produto final.

A entrevista foi realizada em formato de questionário no Google Forms, com duração média de cinco minutos. Para a entrevista, foram escolhidos duas pessoas, ambos mecânicos há mais de 30 anos, possuem experiência prática de usinagem e conhecem as dificuldades enfrentadas pela falta do equipamento na Mecânica e ao Núcleo de Auto Mecânicos de Pinhalzinho – MOSAPI. A entrevista ocorreu também à um cliente da Mecânica. A escolha pelo método de entrevista tem como resultado a facilidade ao realizar a coleta e análise dos resultados.

O projeto informacional abrange também o estudo de processos e parâmetros de usinagem. Com isso, os materiais utilizados para o desenvolvimento da fresadora, foram escolhidos. Nesta mesma fase se enquadram as partes orçamentárias e quantitativas.

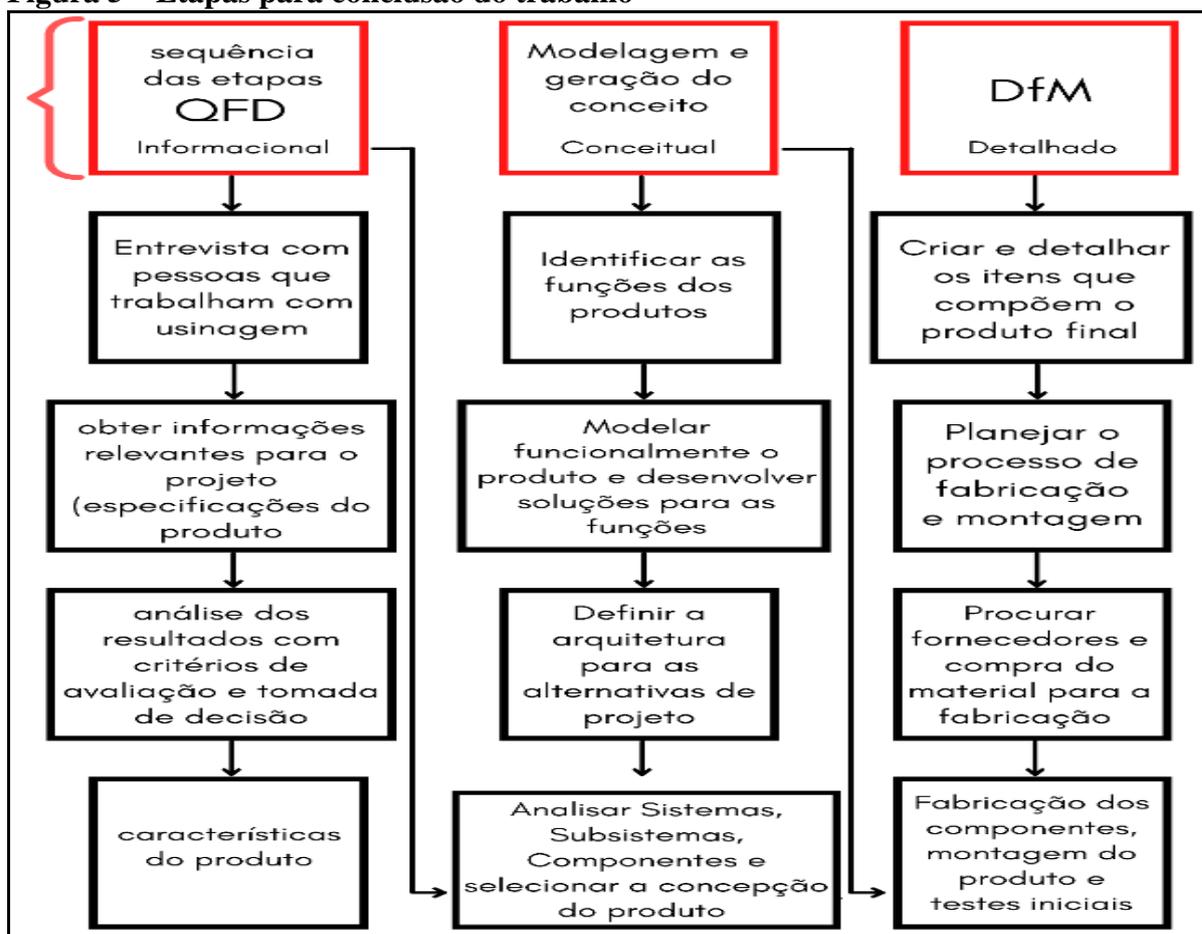
A fase dois se desdobra com o projeto conceitual. Com ele é possível analisar e identificar as funções dos componentes, modelar e desenvolver soluções para as funções do produto final e a definição da arquitetura do produto.

A terceira e última fase, definida como detalhamento, enquadra o DfM, detalhamento do projeto em softwares, montagem e testes iniciais do equipamento. O DfM é a simplificação de componentes e projeto, garantindo qualidade, redução de custos e que tenha uma manufatura fácil. Essa ferramenta é composta por alguns métodos, conceitos e recomendações para guiar o projetista da melhor maneira possível (ROSENFELD *et al.*, 2010).

Com os resultados colhidos e analisados nas fases um e dois, começamos os projetos em softwares, como por exemplo, o *SolidWorks*. O projeto consiste em elaborar uma fresadora CNC. É válido ressaltar que a partir dessa fase, as alterações terão que ser as mínimas possíveis, para não desperdiçar mão de obra e materiais.

A produção das peças que compõem a fresadora pertence a fase três. A fase mais criteriosa e que conduziu a obtenção um maquinário de bom funcionamento e utilização, é a montagem da fresadora. Definida como a fase mais criteriosa devido ao cuidado de projetar e montar de forma correta e ter a certeza de que o projeto foi executado. Ao final, testes iniciais foram realizados, conforme Figura 5.

Figura 5 – Etapas para conclusão do trabalho



Fonte: Autora (2021).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este tópico contempla as etapas da ferramenta desdobramento da função qualidade (QFD), descrição e projeto da fresadora e o protótipo, as quais foram imprescindíveis para chegar no resultado final e alcançar os objetivos traçados.

4.1 FERRAMENTA DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE (QFD)

Neste tópico a ferramenta desdobramento da função qualidade (QFD) foi fracionada para melhor entendimento. O apêndice A abrange a ferramenta desdobramento da função qualidade (QFD) completa.

Para entender quais eram as necessidades e requisitos dos clientes um formulário foi desenvolvido como foco nas respostas de potenciais clientes. O formulário foi enviado para os integrantes do grupo Núcleo de Auto Mecânicos de Pinhalzinho – MOSAPI, no qual obteve-se

algumas respostas e baseadas nelas a ferramenta desdobramento da função qualidade (QFD) foi desenvolvida.

Unido as respostas obtidas no formulário chegou-se nas necessidades e requisitos dos clientes, para dar início à ferramenta desdobramento da função qualidade (QFD). As necessidades dos clientes, foram divididas em três grupos: Usinar peças pequenas, custo-benefício e fácil de operar. A próxima etapa foi identificar os requisitos dos clientes e a partir de então classificar e entender o que pode ser priorizado, como é mostrado na Quadro 1.

Quadro 1 – Necessidades e requisitos dos clientes

Usinar peças pequenas	Materiais adequados para fabricação
	Usinar materiais leves
Custo-benefício	Máquina compacta
	Peso da máquina
Fácil de operar	Controlada por CNC
	<i>Software</i>

Fonte: Autora (2021).

A terceira etapa foi encontrar fornecedores com máquinas similares e comparar quais são os pontos fortes de cada marca, enumerados de 1 a 5, sendo 1 para valor mínimo e 5 para valor máximo, conforme Quadro 2. As marcas escolhidas para a comparação foram a Proxxon e Stark Black Pro. A comparação entre marcas é feita para que os consumidores consigam optar por uma máquina que atende suas necessidades e requisitos. Ressalta-se que para fins de estudo, os comparativos foram simulados e não propriamente comprovados.

Segundo o benchmarking a fresadora do projeto em questão, está em uma escala boa de materiais adequados para fabricação, usinar materiais leves e também em ser uma máquina compacta. Já nos itens peso da máquina, controlada por CNC, *Software*, ela se enquadra na escala ótima.

Por sua vez, o modelo Proxxon é inferior em relação a materiais adequados para fabricação, usinar materiais leves, peso da máquina, controlada por CNC e *Software*. Liderando o Benchmarking somente no item de máquina compacta. O modelo Stark Black Pro é o modelo mais competitivo com a do trabalho em questão, liderando apenas no tópico de materiais adequados para fabricação.

Quadro 2 – Benchmarking

1	2	3	4	5
		Proxxon	Bruna	Stark Black Pro

			Bruna - Stark Black Pro - Proxxon	
		Stark Black Pro	Bruna	Proxxon
		Proxxon	Stark Black Pro	Bruna
			Stark Black Pro – Proxxon	Bruna
		Stark Black Pro – Proxxon		Bruna

Fonte: Autora (2021).

Os requisitos do produto compreendem as características da qualidade que o produto deve ter e que são relevantes para o cliente. Essa fase contempla a quarta etapa da ferramenta desdobramento da função qualidade (QFD) ou casa das qualidades, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Requisitos do produto

Materiais de boa qualidade
Materiais fáceis de serem usinados
Bem dimensionada
Materiais da construção da fresadora pesados
Parte elétrica bem feita
Software de fácil operação
Componentes de fácil fixação
Bom projeto
Bom dimensionamento
Peso da máquina = 30kg ou mais
Materiais corretos para aplicação
Fácil acesso

Fonte: Autora (2021).

Com os requisitos do produto e de clientes prontos é necessário desenvolver a matriz de relacionamentos, que é classificada em 0 (sem relação), 1 (fraco), 3 (médio), 9 (forte). Através dessa correlação é possível identificar como cada requisito do produto influencia no atendimento dos requisitos dos clientes. Os requisitos do produto que se relacionam com os requisitos do cliente e tem uma forte relação são: bom projeto e materiais corretos para a aplicação conforme Quadro 4.

Quadro 4 – Matriz de relacionamentos

9	3	0	9	3	0	9	9	9	9	9	0
9	9	3	3	0	0	3	9	9	9	9	0
3	0	9	3	0	0	9	9	9	9	9	0
3	0	0	9	0	0	3	9	9	9	9	0
0	0	0	0	9	9	0	9	3	3	9	3
0	0	0	0	3	9	0	9	0	0	9	9

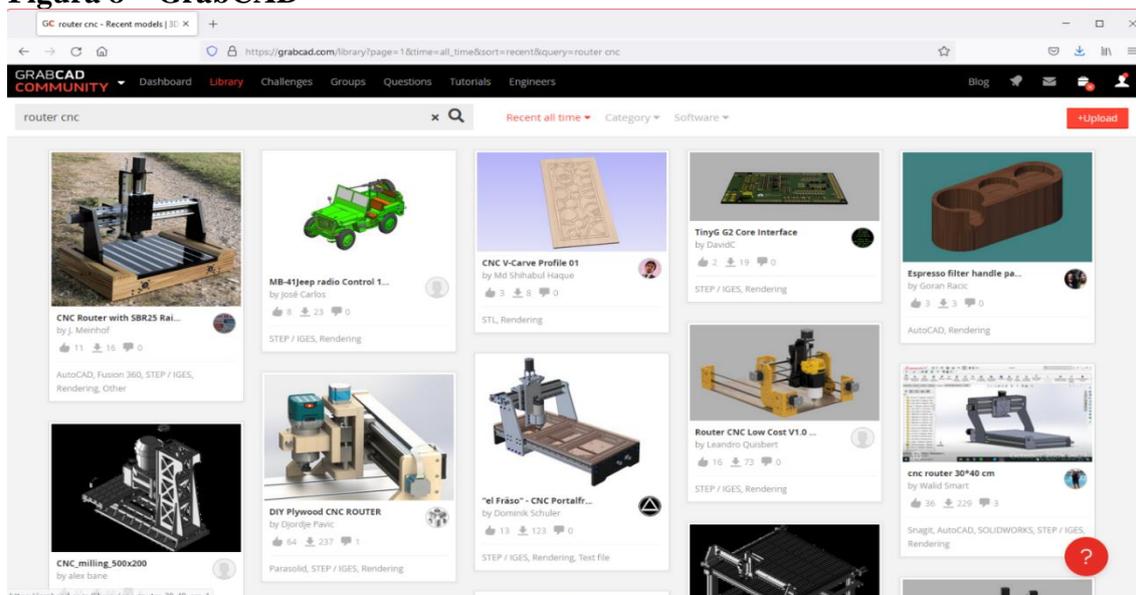
Fonte: Autora (2021).

4.1. DESCRIÇÃO E PROJETO

A necessidade de uso de uma fresadora CNC em empresas de pequeno porte surgiu com a dificuldade de compra de determinadas peças, como bucha de direção elétrica, e a possibilidade de manutenção de algumas peças. A ideia de compra da máquina foi descartada pelo custo, como o uso da máquina não será como o uso industrial seu *payback* não é viável.

Para a execução do projeto conceitual, projetos existentes foram levados em consideração. Por exemplo, para a arquitetura do produto, levou-se em consideração projetos disponibilizados em portais de projeto de compartilhamento de ideias, como exemplo, o GrabCAD. Por outro lado, projetistas com experiência em desenvolvimento de máquinas industriais foram consultados, conforme Figura 8.

Figura 8 – GrabCAD

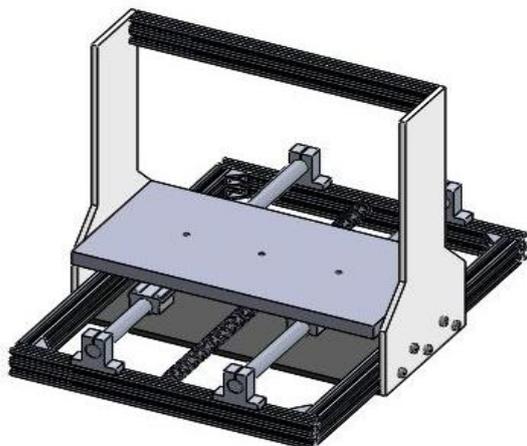


Fonte: GrabCAD (2021).

O desenvolvimento do projeto foi desenvolvido no *software* SolidWorks, sendo que iterações de projeto foram realizadas, na busca por uma solução que atingisse os requisitos definidos pela ferramenta desdobramento da função qualidade (QFD), bem como a viabilidade técnica de fabricação fosse possível. O projeto passou por três versões até o projeto final, conforme as Figuras 9, 10, 11 e 12.

Nessa primeira iteração, conforme Figura 9, é possível perceber que apenas o eixo “x” estava projetado, com os suportes e eixos fixados acima dos perfis estruturais (V-slot) e a mesa que possuía uma área de trabalho pequena com seu posicionamento centralizado.

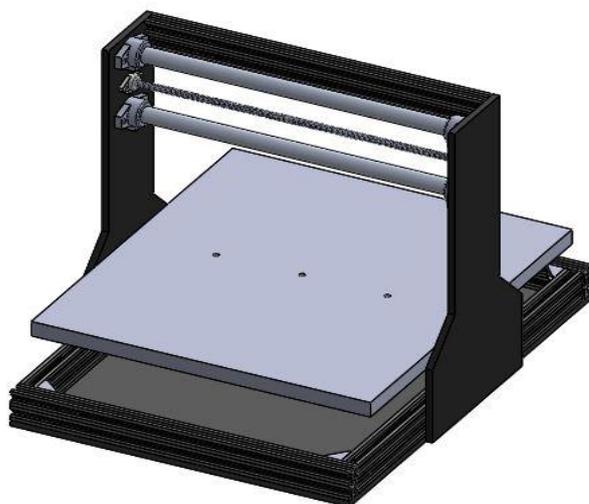
Figura 9 – Ideia inicial para a fresadora



Fonte: Autora (2021).

A Figura 10 representa a segunda alteração estrutural, que foi a alteração de comprimento de mesa. Neste momento, foram posicionados os movimentos do eixo “y”. A posição da mesa foi ajustada para ter amplitude de trabalho.

Figura 10 – Segunda alteração do projeto



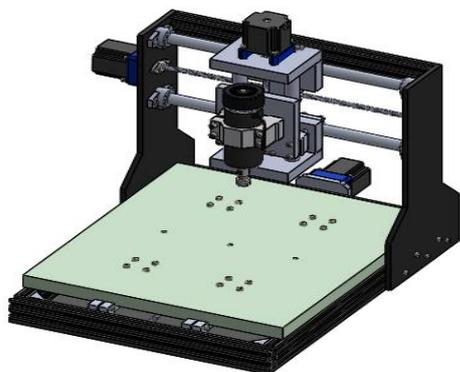
Fonte: Autora (2021).

Por fim, a versão final, nesta etapa as chapas laterais foram reposicionadas para ter uma base de trabalho mais ampla, houve a inserção dos demais elementos que compõem a máquina e alteração de material da mesa, conforme Figuras 11, 12, 13 e 14.

Nesta etapa de projeto aplicou-se a ferramenta DfM na mesa. A ideia inicial é que seu material construtivo fosse ferro, porém o movimento dela seria mais lento devido ao peso, por isso, houve a substituição pela madeira náutica, que é um material mais leve e com boa

resistência. Seu posicionamento também foi alterado devido a compra dos perfis estruturais padronizados.

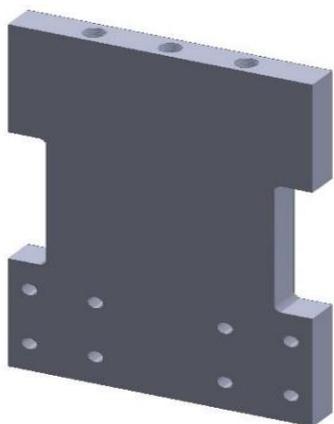
Figura 11 – Projeto finalizado



Fonte: Autora (2021).

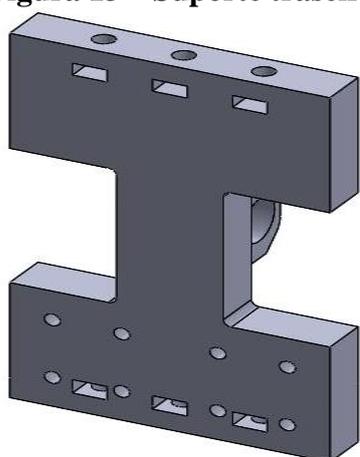
As Figuras 12 e 13 representam como o DfM foi efetivado no projeto. Na Figura 13, que foi a primeira versão do suporte traseiro para o motor Nema do eixo Y, nota-se a largura da peça e que havia somente as furações com rosca para o encaixe do parafuso. Com a análise realizada percebeu-se que o suporte não teria uma boa resistência e fixação. A Figura 14 representa as alterações de DfM realizadas, existem cortes frontais no suporte, para encaixe perfeito de uma porca sextavada ISO 4032 M8, essa porca tem a entrada pela parte frontal e a parte de cima do suporte tem o furo para o encaixe de parafuso M8, a porca tem a função de travar o parafuso, gerando uma resistência maior. A redução de largura da peça foi realizada para não desperdiçar material, já que a alteração não afeta seu funcionamento nem resistência.

Figura 12 – Suporte traseiro eixo Y – antes do DfM



Fonte: Autora (2021).

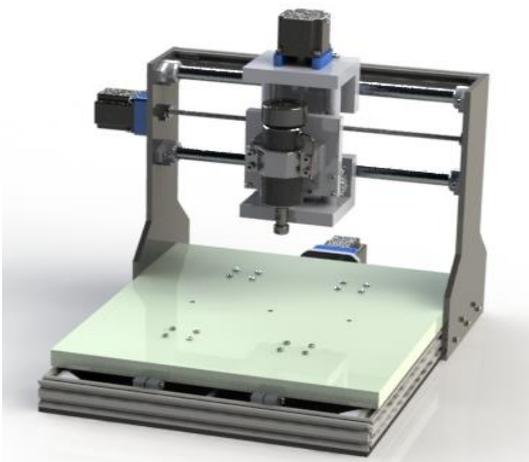
Figura 13 – Suporte traseiro eixo Y – após DfM



Fonte: Autora (2021).

A escolha pela aplicação do DfM no projeto gerou resultados positivos e eficazes, fazendo com que chegasse ao projeto final, conforme Figura 14.

Figura 14 – Render do projeto final



Fonte: Autora (2021).

Com as alterações efetivadas, concretizou-se o projeto final para a etapa de compras, conforme Quadro 5.

Quadro 5 – Materiais utilizados para o desenvolvimento da fresadora

Material	Quantidade
V - Slot - 400 mm	6
V - Slot - 500 mm	4
Cantoneira em alumínio	10
Motor de passo Nema 23	3
Motor Spindle	1
Driver Dm556 5.6a,20-50v, Mais Placa Usb +fonte	1

Acoplamento Flexível em Alumínio	4
Mancal Modelo KP 8mm	2
Mancal Modelo KFL 8mm	4
Suporte Para Eixo Guia Linear 8mm Shf08 Cnc Router	6
Kit 12 Peças Suporte 20mm Eixo Linear Cnc Router Mancal Shf	12
Pillow-block-fechado-20mm-cnc-automaco	12
Madeira	1
Suportes impressos em 3D	8
Eixos	2200mm
Eixos roscado	1100mm
Chapas de ferro	
Parafusos, porcas e arroelas	
Fios e terminais para a parte elétrica	

Fonte: Autora (2021).

Com o projeto concluído, foi dada sequência a próxima etapa, que é a montagem do protótipo.

4.2. PROTÓTIPO

Neste capítulo será apresentado a criação do protótipo da máquina, com passo a passo de fabricação e montagem. A fabricação da fresadora iniciou com o recorte das chapas de ferro que compõem a parte inferior da fresadora e suportes laterais. Após a marcação da medida de cada chapa, foi utilizado a máquina de corte plasma para recorte deixando-as no formato correto para a montagem, conforme Figura 15.

Figura 15 – Início do recorte das chapas



Fonte: Autora (2021).

A próxima etapa executada foi a correção das imperfeições que ficaram nas chapas devido ao recorte do plasma, com o auxílio do torno e rebolo copo, os suportes laterais foram furados e presos com parafusos para ambos ficarem iguais, conforme Figura 16.

Figura 16 – Suportes laterais



Fonte: Autora (2021).

A construção da fresadora seguiu com a montagem dos perfis estruturais, utilizando as cantoneiras e parafusos, seguido da fixação deles na chapa inferior, conforme Figura 17

Figura 17 – Base da fresadora



Fonte: Autora (2021).

Na Figura 18, a fresadora começou a ter o formato como projetado, onde os pillow blocks inferiores, que servem para apoiar, localizar, guiar e mover componentes com exatidão, foram posicionados, juntamente com suportes e eixo. Com essa etapa concluída a mesa foi fixada.

Figura 18 – Posicionamento dos eixos e pillow block



Fonte: Autora (2021).

Com a base pronta, iniciou-se a construção da parte superior. Seguindo as medidas do projeto, os suportes para os eixos superiores foram posicionados e fixados. Os suportes impressos em 3D foram utilizados para fixação dos pillow block do eixo “y”, conforme Figura 19.

Figura 19 – Encaixe dos pillow block aos suportes



Fonte: Autora (2021).

Com a montagem dos suportes concluída, iniciou-se a etapa de montagem final, colocar todos os componentes na fresadora, conforme Figura 20.

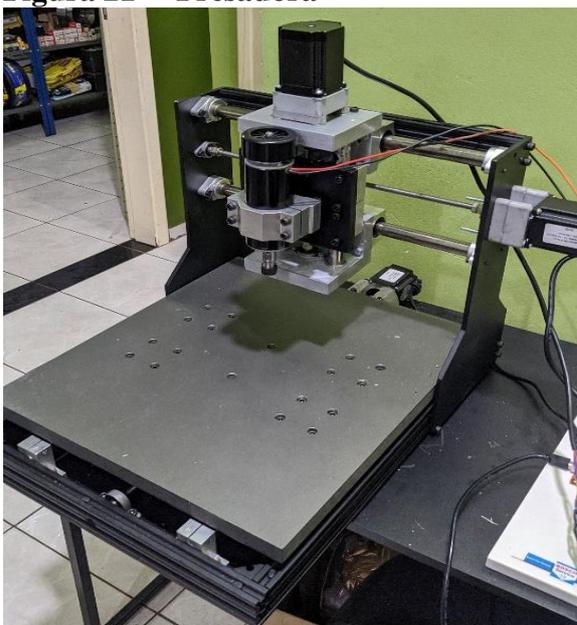
Figura 20 – Montagem da fresadora



Fonte: Autora (2021).

O protótipo físico quase finalizado, faltando acoplar os motores, chegou o momento de pintar os componentes da fresadora e montá-la, conforme Figura 21

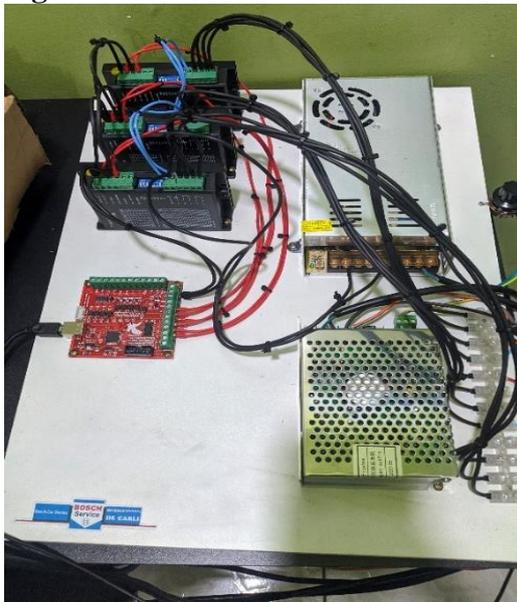
Figura 21 – Fresadora



Fonte: Autora (2021).

Entre meio a fabricação da fresadora, a parte elétrica foi desenvolvida, no início com alguns problemas para funcionamento dos drivers e motores, devido a ligações de fiações erradas e configuração do *Software*, conforme Figura 22.

Figura 22 – Parte elétrica finalizada



Fonte: Autora (2021).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho de conclusão de curso consistiu no desenvolvimento de uma fresadora CNC, para atender auto mecânicas de pequeno porte para fabricação de peças automotivas de reposição, de pequena complexidade, utilizando o processo de desenvolvimento de produtos (PDP). A partir da revisão bibliográfica inicial do desenvolvimento de produtos foi possível selecionar duas ferramentas para o desenvolvimento da fresadora, o Desdobramento da Função Qualidade (QFD) e o *Design-to-Manufacturing* (DfM). o desdobramento da função qualidade (QFD) possibilitou o entendimento das especificações do cliente. Por sua vez, o DfM proporcionou soluções práticas para melhorar o projeto e o produto final.

A partir da obtenção das especificações e detalhamentos necessários para a máquina, o projeto foi iniciado no *software* SolidWorks. Fundamentado pelo projeto, fundou-se a lista de compras dos materiais para sua prototipagem. A fabricação do protótipo físico foi elaborada, com finalidade de constatar os resultados obtidos com as ferramentas de desenvolvimento de produtos.

De acordo com os resultados a máquina tem condições de operar com algumas restrições de materiais e tamanhos, mas atende a demanda de auto mecânicas de pequeno porte, diminui custos com terceirização do serviço de usinagem e diminui o tempo de espera de reposições de peças. A sugestão para trabalhos futuros está na análise estrutural dos esforços da máquina, pois há possibilidade da máquina fresar materiais mais rígidos com sua alteração estrutural.

REFERÊNCIAS

- BENTO, Alexandre Rodizio; TAMBOSI, Sérgio Luis; ROCHA, Leonel da. ISO TS aplicada como suporte a Rastreabilidade no setor automobilístico. **Anais do 66º Congresso Internacional da ABM**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337000511_ISO_TS_APLICADA_COMO_SUPORTE_A_RASTREABILIDADE_NO_SETOR_AUTOMOBILISTICO. Acesso em: 06 abr. 2021.
- BEZERRA, Phellipe Peterson Lma. **Implementação de comando numérico computadorizado em uma furadeira de bancada**, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em engenharia mecânica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/54928/3/2018_tcc_pplbezerra.pdf. Acesso em: 12 maio 2021.
- BIESEK, Fernando Luiz. **Modelo para integração das áreas de conhecimento de Projeto e Manufatura por intermédio do MRL (Manufacturing Readiness Level) e do DFMA (Design for Manufacturing and Assembly) na fase de desenvolvimento de tecnologia de produto**, 2018. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/190065/PPCM0016-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Acesso em: 31 ago. 2021.
- BOA SORTE, Rafael Tanganini. **Influência do fluido de corte na usinagem de polímeros**, 2020. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2020. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/24088/1/fluidocorteusinagempolimeros.pdf>. Acesso em 30 de out. 2021.
- BRAGAGNOLO, Rodrigo Pires. **Desenvolvimento de uma fresadora didática de comando numérico computadorizado de pequeno porte**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Panambi, 2018. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/5398/Rodrigo%20Pires%20Bragagnolo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 31 ago. 2021.
- CARRETTA, Fernanda. **Ferramentas de criatividade para o desenvolvimento de produtos**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2019. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/334583>. Acesso em: 18 abr. 2021.

CARVALHO, Natalha Gabrieli Moreira. MATIAS, Nelson Tavares. DFMA e Design Thinking: Uma Análise Comparativa Acerca de Metodologias Projetuais. **Ângulo**, n. 150/1, p. 34-40, 2017. Disponível em:

<http://unifatea.com.br/seer3/index.php/Angulo/article/view/731/704>. Acesso em: 03 maio 2021.

CUNHA, Gilberto Dias da. A Evolução dos Modos de Gestão do Desenvolvimento de Produtos. **Produto & Produção**, vol. 9, n. 2, p. 71-90, jun. 2008. Disponível em:

<https://seer.ufrgs.br/ProdutoProducao/article/view/4346/2294>. Acesso em: 18 abr. 2021.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos Materiais** - MM Editora São Paulo - SP 1999.

ENGINEERING DESIGN SOLUTIONS, 2021. Disponível em:

<https://engineeringdesignsolutions.com/dfm-and-dfa/dfm-and-dfa-6/>. Acesso em 15 nov. 2021.

FLEURY, Maria Tereza Leme; WERLANG, Sergio Ribeiro da Costa. Pesquisa aplicada: conceitos e abordagens. **Anuário de Pesquisa GV Pesquisa**, São Paulo, SP: FGV-EAESP, 2016.

FRACARO, Janaina. **Fabricação pelo processo de usinagem e meios de controle**. 1 ed. Curitiba: Editora Intersaberes, 2017. 342 p. ISBN 9788559724899.

GRABCAD. Router CNC, 2021. Disponível em:

https://grabcad.com/library?page=1&time=all_time&sort=recent&query=router%20cnc. Acesso em 15 nov. 2021.

HENNING, Elisa. *et al.* Processo de automatização de uma fresadora: um estudo de melhoria contínua baseado na metodologia do ciclo PDCA. **Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial**-ISSN-1983-1838, v. 6, n. 1, p. 1-20, 2013.

HOU, Yongfeng. *et al.*, (2015). A Cutting Parameters Selection Method in Milling Aero Engine Parts Based on Process Condition Matching. **Advances in Mechanical Engineering**. 5. 157343-157343. 10.1155/2013/157343. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/273180547_A_Cutting_Parameters_Selection_Method_in_Milling_Aero-Engine_Parts_Based_on_Process_Condition_Matching. Acesso em: 22 maio 2021.

KRELLING, Anael. **Parâmetros de corte no processo de usinagem: fresamento**, 2021. Disponível em:

<http://joinville.ifsc.edu.br/~anael.krelling/Tecnologia%20em%20Mecatr%C3%B4nica/PFB64/11%20Parametros%20de%20Corte%20no%20Processo%20de%20Usinagem%20Fresamento.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2021.

LIMA, Davi da Frota Leite. **Implementação de comando numérico computadorizado em uma mesa de coordenadas**, 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em:

http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/54871/1/2018_tcc_ddfillima.pdf. Acesso em: 12 maio 2021.

MACIEL, Odmartan Ribas. **Desenvolvimento de soluções para melhoria do desempenho de uma mini fresadora CNC**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Panambi, 2016. Disponível em:

<https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/3969/Odmartan%20Ribas%20Maciel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 31 ago. 2021.

MACHADO, Álisson. Rocha. *et al.* **Teoria da usinagem dos materiais**. 3 ed. São Paulo: Editora Blucher, 2015. 408 p.

MACHADO, Tiago Pereira Santos de Oliveira.; ENSSLIN, Leonardo.; ENSSLIN, Sandra Rolin. Desenvolvimento de produtos usando a abordagem. **MCDA-C. Prod.**, São Paulo , v. 25, n. 3, p. 542-559, Sept. 2015 . Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132015000300542&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 30 abr. 2021.

MENDES, Glauco Henrique De Sousa. **O processo de desenvolvimento de produto em empresas de base tecnológica: caracterização da gestão e proposta de modelo referente**, 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008. Disponível em:

<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/3322/1885.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 26 abr. 2021.

PASQUINI, Nilton Cesar. Desdobramento da Função da Qualidade (DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE (QFD)) conceitos e aplicações. **Revista Qualidade Emergente**, v. 4, n. 2, 2013.

PD STUDIO. **5 Parâmetros básicos para um corte perfeito**, 2021. Disponível em:

<https://www.pdstudio.com.br/post/5-par%C3%A2metros-b%C3%A1sicos-para-um-corte-perfeito>. Acesso em 03 nov. 2021.

RAZUK, Paulo. C. MECÂNICA, Depto Engenharia. **O método científico**, 2015.

ROMEIRO, Eduardo Filho. **Projeto do produto – apostila do curso**. 8. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2006. Disponível em: <http://www.dep.ufmg.br/wp-content/uploads/2015/01/apostilaproduotoufmg.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2021.

ROSENFELD, Henrique *et al.* **Gestão de Desenvolvimento de Produtos Uma Referência para a Melhoria do Processo**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2010. 577 p.

SALLES, J.I.C; GONÇALVES, M.T.T. Effects of machining parameters on surface quality of the ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE). **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v.8, p. 1- 10, 2003.

SILVA, Fernando *et al.* Relações entre parâmetros de corte e acabamento superficial no poliacetal em operação de fresamento. **5ª Jornada Científica e Tecnológica da FATEC de Botucatu**, 2016. Disponível em:

<http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VJTC/VJTC/paper/viewFile/673/1051>. Acesso em 03 de nov. 2021.

SOUZA, Adriana Ribeiro de *et al.* Aplicação do design for assembly and manufacturing (dfma) no projeto conceitual de um comedouro automático para cães. **XXXVII encontro nacional de engenharia de produção**, 2017. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_WIC_242_405_33842.pdf. Acesso em: 03 maio 2021.

TEIXEIRA, Larissa Santos. **Desenvolvimento do Projeto e do Produto através do jogo didático**, 2014. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2014. Disponível em: https://www.ufjf.br/engenhariadeproducao/files/2014/09/2014_1_Larissa.pdf. Acesso em: 25 abr. 2021.

TOLEDO, José Carlos *et al.* Práticas de gestão no desenvolvimento de produtos em empresas de autopeças. **Prod.**, São Paulo, 2008. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132008000200015. Acesso em: 26 abr. 2021.

UJIHARA, Hélio Massaharu *et al.* DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE (QFD) como estratégia para desenvolvimento e melhoria de produtos, serviços e processos. **III SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, 2006. Disponível em [https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos06/570_DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE \(QFD\)%20EstratMelhorProd.pdf](https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos06/570_DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE (QFD)%20EstratMelhorProd.pdf). Acesso em: 27 abr. 2021.

YUMPU. Machining Parameters for miling. Disponível em: <https://www.yumpu.com/en/document/read/22405941/machining-parameters-for-milling>. Acesso em: 26 maio 2021.