



CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

METODOLOGIA DE PROJETO PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO SOB ENCOMENDA: UM ESTUDO DE CASO

CON-2016-1153

Resumo: Devido o aumento na competitividade dos mercados e ao surgimento de produtos cada vez mais sofisticados e adequados ao desejo de cada cliente, tem-se a necessidade de desenvolver produtos sob encomenda para fins específicos, seguindo o tempo e custo de desenvolvimento, possíveis de serem aplicados. Porém, para alcançar tais resultados, o uso de metodologias de projeto, pode ser fundamental para o desenvolvimento de tais produtos. Muitos autores sugerem metodologias que abordam o processo de projeto para produtos de fabricação seriada, nos diferentes ramos industriais, bem como ferramentas e métodos que podem ser aplicados no andamento e gerenciamento do projeto. No entanto, para esses produtos, as metodologias devem ser adequadas para tal fim. Neste sentido, o estudo vem contribuir para a elaboração de uma metodologia adequada para o desenvolvimento de um equipamento sob encomenda, utilizando conceitos e definições de metodologias já existentes na literatura. Como resultado, foi obtida uma sequência de etapas a serem seguidas, para melhor auxiliar o projetista, e consequentemente obter o produto, satisfazendo os requisitos desejados do cliente. Tais etapas apresentam-se em uma ordem lógica, onde uma etapa depende da anterior, logo, as mesmas devem ser realizadas em sequência, para que o objetivo seja alcançado. Aplicou-se então a metodologia de projeto para o desenvolvimento de uma Router CNC sob encomenda, onde foram seguidas as etapas estabelecidas e consequentemente, obtendo-se um equipamento dimensionado.

Palavras-chave: equipamento, metodologia, produto, projeto

1. INTRODUÇÃO

A elevada concorrência, a complexidade e o número de informações a qual, estão ligados os produtos, fazem surgir à necessidade da sistematização de metodologias que auxiliam o processo de desenvolvimento de produtos, cuja finalidade é obter produtos onde a qualidade é máxima, os custos são mínimos e o tempo seja reduzido. A aplicação de metodologias e técnicas modernas tem levado a otimização do processo, reduzindo as modificações e aumentando a qualidade final, além da confiabilidade dos produtos.

Portanto, o desenvolvimento de produtos compreende uma série de atividades que auxiliam projetistas em suas tarefas. Com isso, alguns autores sugeriram metodologias que abordam o processo de projeto para os diferentes ramos industriais, bem como ferramentas e métodos que podem ser aplicados no andamento do projeto. O uso de metodologias que integram os diferentes aspectos do projeto é uma maneira pela qual torna o processo lógico e compreensível, pois estuda os métodos para solucionar problemas teóricos e práticos, estabelecendo uma orientação básica que dá uma ideia geral do que deve ser feito no início do projeto, os caminhos a serem seguidos e a que resultados devem-se chegar. Algumas metodologias foram desenvolvidas no sentido de auxiliar na organização das várias etapas a serem cumpridas no projeto global.

Surge então à necessidade da criação de uma metodologia para o desenvolvimento de um equipamento sob encomenda, onde as etapas são realizadas de acordo com as necessidades do cliente e do objetivo do equipamento a ser desenvolvido. Podem ser facilmente planejadas com cronogramas de desenvolvimento, onde cada resultado de conclusão das fases pode ser previsto para ser concluído numa data específica, permitindo um controle mais rigoroso do andamento do projeto.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Projetar é uma atividade em constante progresso, visto que está sujeito a inúmeros ajustes e adaptações com o decorrer de seu desenvolvimento e com as informações obtidas durante a análise do problema a ser corrigido (BUDYNAS e NISBETT, 2011).

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

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

Existem várias metodologias propostas por autores que desenvolvem seus trabalhos de forma paralela, surgindo assim soluções muito próximas, porém algumas diferem apenas em aspectos morfológicos. Muitas definições podem ser encontradas para o termo, mas, de maneira geral, metodologia de projeto consiste no conhecimento organizado, configurado de tal maneira a suportar as atividades dos engenheiros e projetistas, orientando-os sobre determinados caminhos, na busca de melhores soluções para os problemas de projeto (AREND, 2003).

2.1. Metodologia de Projeto pra o desenvolvimento de um Equipamento Sob Encomenda

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

Com base nas metodologias já existentes, desenvolve-se uma nova metodologia para o desenvolvimento de um equipamento sob encomenda, do qual se divide em etapas, sendo estas:

Etapa 1 – Identificação dos problemas/necessidades: estuda-se o problema que deu origem a necessidade de construir o produto, onde se realiza uma análise detalhada buscando informações suficientes para o completo entendimento do problema;

Etapa 2 – Planejamento: as informações coletadas na fase anterior serão especificadas e melhor definidas para o desenvolvimento do produto. Decisões são tomadas em relação ao desenvolvimento de produtos, procurando auxiliar e pré-determinar as atividades a serem seguidas, determinando o escopo do projeto;

Etapa 3 – Projeto Conceitual: desenvolve-se a concepção de um produto que possa suprir da melhor forma possível os objetivos de acordo com as necessidades esclarecidas, considerando as limitações e restrições, definidas no planejamento;

Etapa 4 – Projeto Preliminar: realiza-se estudos de viabilidade que prova se um produto é fisicamente viável ou não. Em seguida, determina-se qual entre as alternativas propostas mostra ter a melhor concepção para o projeto, onde as possíveis soluções são analisadas;

Etapa 5 – Projeto Detalhado: desenvolve-se e finaliza o projeto, no sentido de serem concluídos desenhos, documentações e dimensionamentos para então serem encaminhados à manufatura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Algumas solicitações de equipamentos sob encomenda são observados em diversas aplicações na engenharia, como é o caso da necessidade de se usinar a madeira de forma aleatória e controlada. Assim, o desenvolvimento de um equipamento para tal fim específico, faz-se necessário uma metodologia mais direcionada, em desenvolvimento ao produto desejado. Assim, com a criação da nova metodologia aplica-se ao desenvolvimento de um equipamento sob encomenda, onde tal produto a ser desenvolvido seria o Router CNC, sendo esta uma máquina controlada via computador para a usinagem de diversos tipos de materiais, cujo trabalho enfoca-se na usinagem da madeira. Portanto, seguindo os passos definidos anteriormente, verifica-se a metodologia criada a partir do desenvolvimento do produto.

Etapa 1 – A grande deficiência na qualidade final dos produtos feitos de madeira é decorrente principalmente de ineficiências no setor de usinagem e acabamentos superficiais, surgindo assim, a necessidade de desenvolver equipamentos que realizem trabalhos na madeira e permita que o acabamento final seja de qualidade.

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

Utilizando a Casa da Qualidade ou QFD, relacionam-se as necessidades do cliente (NC) com os requisitos de qualidade (RQ), onde serão melhor definidos os requisitos de projeto para auxiliar no planejamento do produto, do qual

esta conduzirá na elaboração das especificações de forma a refletir as reais necessidades do consumidor, como pode ser observado na Fig. 1.

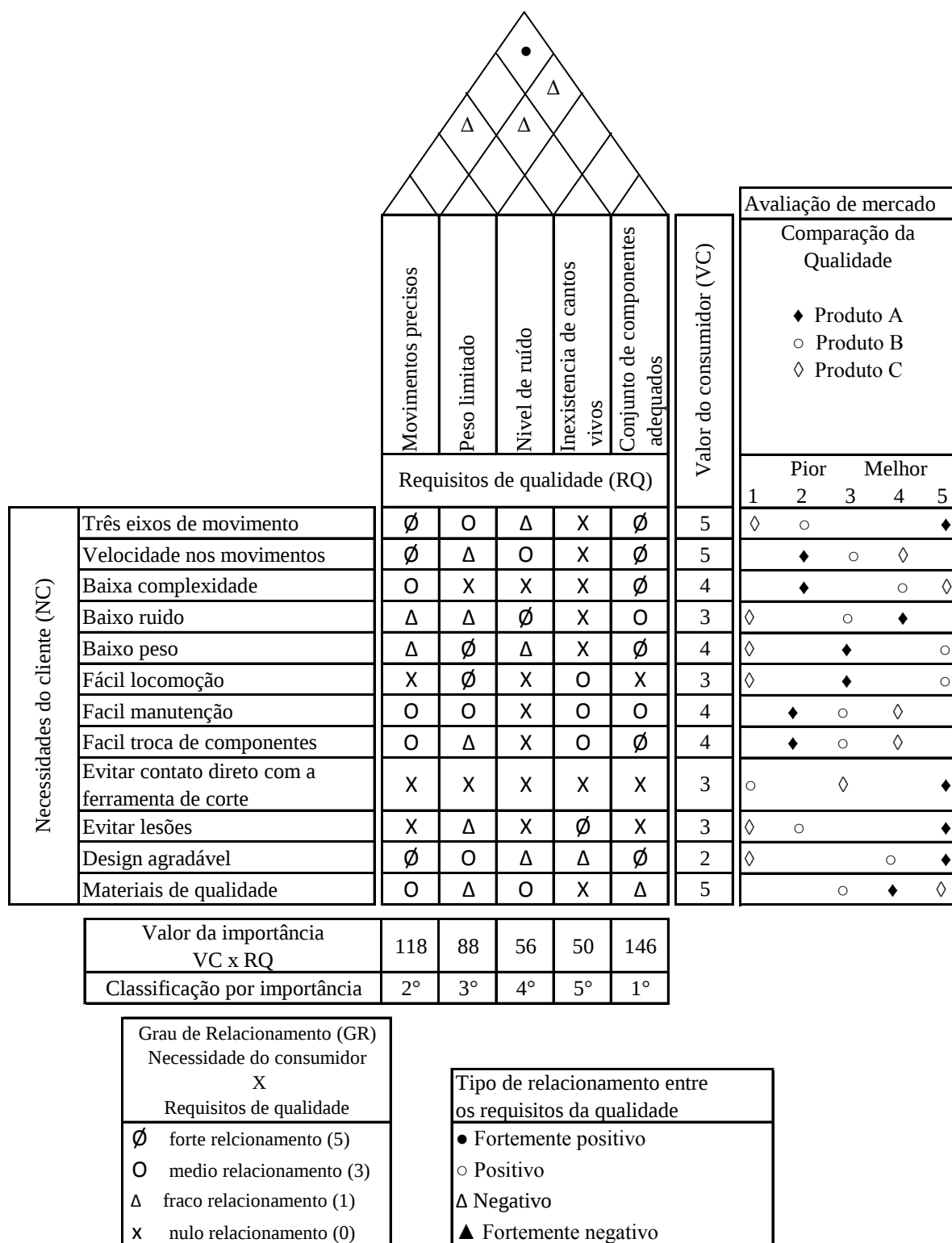


Figura 1. A Casa da Qualidade, (Router CNC (◆). Serra de Fita (○). Esquadrejadeira (◇))

Etapa 2 – Deve ser coletado o máximo de informações possíveis para o início do planejamento acerca do produto, onde tais informações serão analisadas e posteriormente conceituadas para que o equipamento seja desenvolvido.

O Router CNC é idealizado para usinagens leves, utilizado para realizar cortes e gravações, dos mais diversos tipos de desenhos, sobre materiais frequentemente macios e não ferrosos como madeiras em geral (MDF, HDF, MDP, OSB), compensado naval, plásticos em geral, PVC expandido, ACM, acrílico, celeron, alumínio naval, entre outros.

Têm-se algumas especificações e requisitos a respeito do equipamento: trabalha com três eixos, para o controle do movimento em 3D; partes do projeto são projetadas no computador com um programa de CAD/CAM; os eixos se movimentam simultaneamente, executadas por programas e são controladas pela mesma interface; os eixos se movimentam, enquanto a mesa permanece imóvel; motores elétricos onde a precisão do movimento é necessária são os mais recomendados; o sistema de movimentação é realizado por meio de fusos conectados aos eixos, dos quais serão acionados pelos motores, para que o movimento seja mais preciso; a velocidade de avanço depende da velocidade do motor e do fuso, para que não seja exigido um torque muito elevado fornecido pelos motores.

Etapa 3 – Com as informações obtidas nas fases anteriores é possível dar início a concepção do projeto, elaborando conceitos que irão seguir o que foi definido. Inicialmente, devem ser levados em consideração os resultados obtidos com a QFD, de acordo com a classificação de importância, tem-se a velocidade e a precisão dos movimentos e o peso que o equipamento venha a apresentar de acordo com os componentes que serão definidos.

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

O equipamento começa a exibir uma determinada forma e consequentemente, definições de possíveis componentes que façam com que o equipamento realize o que foi determinado. O desenho inicial do projeto apresenta uma primeira ideia do que se pretende com o projeto, porém esses desenhos sofrem modificações, pois são apenas esboços iniciais para que possa dar continuidade às fases seguintes.

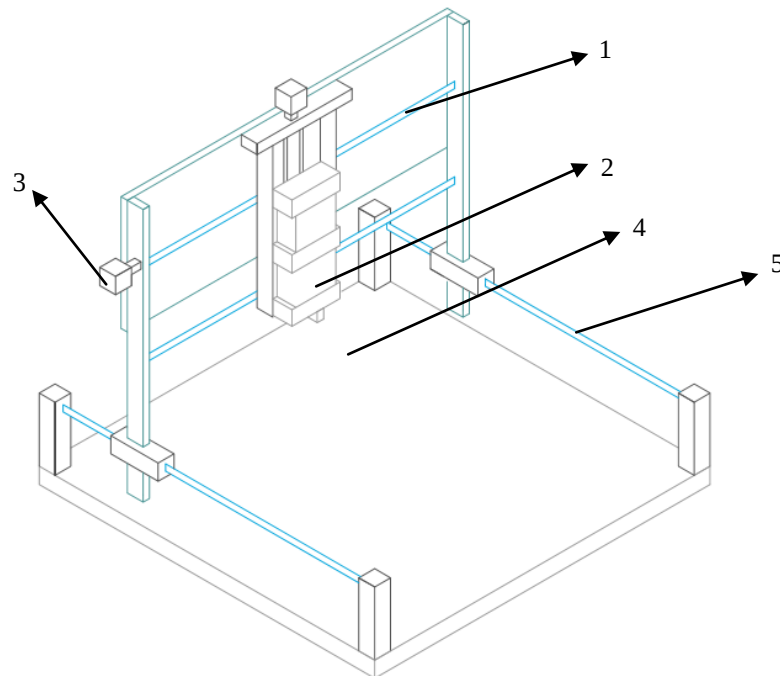


Figura 2. Perspectiva isométrica do primeiro esboço do Router CNC.

Na Fig. 2 são enumerados componentes importantes do equipamento, para que o desempenho seja eficiente, dos quais são: fusos roscado (1), motor spindle (2), motor de passo (3), bancada (4) e fuso retificado (5)

Etapa 4 – Para o início do desenvolvimento do equipamento é necessário dimensionar os componentes definidos na fase de projeto conceitual, para que desenvolva sua função eficientemente. No entanto é preciso um conhecimento mais específico para estabelecer as características presentes nesses componentes e consequentemente, alcançar os objetivos.

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

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

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

Onde:

n = Rotação da ferramenta (RPM)

V_C = Velocidade de corte (m/s)

d = Diâmetro da ferramenta (mm)

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

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

O diâmetro da ferramenta pode variar de 0,5 - 10 mm, que se determina de acordo com a necessidade da usinagem, podendo ser utilizado uma ferramenta de corte com diâmetro maior ou menor, onde n é inversamente proporcional a d , logo, quanto maior o diâmetro da ferramenta, menor a rotação.

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

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

Onde:

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

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

Néri (2003) relaciona a pressão específica de corte (K_S) e a espessura de corte (h) através de gráficos, onde K_S varia em função de h . Com isso, determina-se que $K_S = 8 \text{ N/mm}^2$ e que o cavaco deve apresentar uma área de 25mm², encontra-se que a força de corte é de:

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

Portanto, com os valores da velocidade e da força de corte, encontra-se a potência, através da Eq. (5):

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

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

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

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

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

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

Tabela 1. SPINDLES ELÉTRICOS COM TROCA MANUAL DE FERRAMENTAS SÉRIE TL – Refrigeração Líquida.

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

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

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

Três fusos serão utilizados para realizar o movimento frontal e posterior, com a mesma configuração do deslocamento realizado na horizontal, porém a força exercida sobre esses fusos é superior devido ao movimento que realizam e a estrutura que é deslocada. Com isso, são submetidos a uma força de 345 N, logo, utilizando o mesmo fator de segurança os diâmetros encontrados são de 9,84 mm para o fuso retificado e 12,18 mm para o roscado. A Tab. 2, apresenta os valores definidos de cada fuso para força e diâmetro.

Tabela 2. Força e diâmetro do fuso retificado e roscado.

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

A partir dos esboços iniciais e dos componentes determinados, desenvolve-se novos e melhorados desenhos para o equipamento. Portanto, a partir dos desenhos iniciais, foram realizadas modificações até o resultado final, como mostrado na Fig. 3.

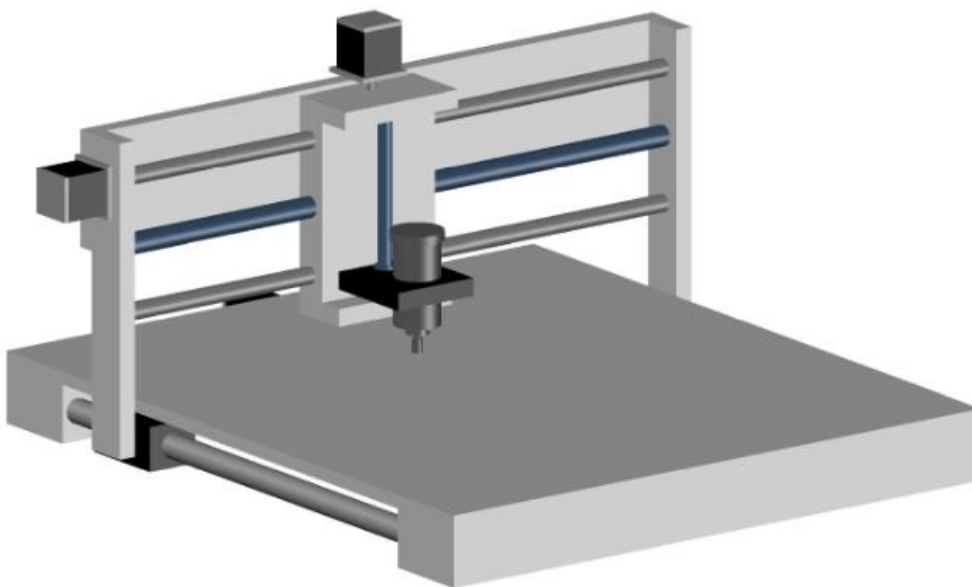


Figura 3. Layout final do equipamento.

4. CONCLUSÃO

Conclui-se que foi possível elaborar uma metodologia e aplicá-la em um estudo de caso, resultando num projeto preliminar de um equipamento sob encomenda, o que mostra ser possível a utilização de metodologias já existentes para tal fim. No entanto, algumas limitações foram identificadas, como a força de corte calculada que só é válida para usinagens onde a área do cavaco é de 25 mm², assim como o tamanho do material que se pretende usinar, que deve estar de acordo com as restrições do equipamento.

Contudo, para o aperfeiçoamento desse projeto se faz necessário um número maior de especificações, além de um aprofundamento na aplicação da metodologia, levando em consideração que neste trabalho foram realizadas apenas algumas especificações em torno dos componentes e da estrutura do equipamento.

5. REFERÊNCIAS

AREND, Lucas. **Sistematização das Fases de Projeto Preliminar e Detalhado do Desenvolvimento de Produtos e sua Aplicação no Projeto de um Multicultor Modular**. 2003. 293 f. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

AZEVEDO, Maykson Rangel. **Projeto de uma dobradeira de tubos para a equipe Cactus Baja SAE**. 2014. 75 f. Tese (Bacharel em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014.

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de máquinas de Shigley**: projeto de engenharia mecânica. 8°. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

CASTRO, Vinícius de Oliveira Rebouças. **Metodologia de Projeto Aplicada ao Desenvolvimento de um Chanfrador de Tubos**. 2014. 86 f. Tese (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2014.

FORCELLINI, F. A.; BACK, N. **Projeto de Produtos**. 2002, 160 p. Apostila do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.

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

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

SANTOS, Adison de Jesus dos. **Desenvolvimento de uma Ferramenta de Verificação e Análise de Informações na Etapa de Pré-projeto de Produtos Sob Encomenda**. 2010. 185 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

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

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores Rita Anne Andrade Barreto e Fabrício José Nóbrega Cavalcante são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

DESIGN METHODOLOGY FOR DEVELOPING A CUSTOM EQUIPMENT: A CASE STUDY

Rita Anne Andrade Barreto, ritaannee@gmail.com¹

Fabrício José Nóbrega Cavalcante, fabriciocavalcante@ufersa.edu.br¹

¹Rural Federal University of Semi-Arid

Abstract. *Due to the increased competitiveness of markets and the emergence of increasingly sophisticated products and suitable to the desire of each client, It has been a need to develop custom-made products for specific purposes, following the time and cost of development, able to be applied. However, to achieve such results, the use of design methodologies, can be critical to the development of such products. Many authors suggest methodologies that address the design process for serial manufacturing of products in different industrial sectors, as well as tools and methods that can be applied in progress and project management. However, for these products, methodologies must be suitable for this purpose. In this sense, the study contributes to the development of an appropriate methodology for the development of equipment to order, using concepts and methodologies of existing definitions in the literature. As a result, a sequence of steps to be followed has been obtained, to better help the designer, and consequently to obtain the product satisfying the client's desired requirements. These steps are presented in a logical order, where one step depends on the previous, so they must be performed in sequence, so that the goal is reached. It was then applied to the design methodology for the development of a CNC router custom where estabelecidas steps were followed and consequently obtaining a scaled equipment.*

Keywords: *equipment, methodology, product, design*