

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

REPROJETO E CONSTRUÇÃO DO TERCEIRO GRAU DE LIBERDADE DE UMA MINI-FRESADORA CNC

Odmartan Ribas Maciel, odeijui@hotmail.com
Ivan Junior Mantovani, ivan.mantovani8@gmail.com
João Paulo Weselovski da Silva, jpsw1994@yahoo.com.br
Felipe Oliveira Bueno, felipe.ob127@yahoo.com.br
Andrei Fiegenbaum, andrei.fig@hotmail.com
Mônica Raquel Alves, www.monicaalves@hotmail.com
Felipe Tusset, felipe.tusset@unijui.edu.br
Luiz Antonio Rasia, rasia@unijui.edu.br
Antonio Carlos Valdiero, valdiero@unijui.edu.br

¹Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, DECEEng/UNIJUÍ/Campus Panambi/Caixa Postal 121/CEP 98290-000,

Resumo: Este trabalho descreve o reprojeto e a construção do terceiro grau de liberdade de uma mini-fresadora com comando numérico computadorizado (CNC). O objetivo principal foi a adaptação de um novo porta pinça com possibilidade de uso de pinças para diversos diâmetros de fresas de topo. Apresentam-se as etapas de projeto, desenvolvimento, fabricação, programação e testes de funcionamento. A necessidade de fabricação e usinagem de peças com geometrias complexas contribuiu para o início de uma etapa importante dos processos de fabricação, que se caracteriza pela utilização de computadores para auxílio à manufatura. A utilização de equipamentos auxiliados por comandos CNC, como fresadoras e tornos, permitiu uma produção em maior escala, melhoria na qualidade dos produtos, aumento dos índices de produtividade, e de um modo geral gerou uma melhoria nos processos produtivos na indústria. Utilizou-se uma metodologia de projeto de produtos industriais, partindo inicialmente da análise das necessidades. Após esta análise, desenvolveu-se o projeto conceitual e em seguida o projeto detalhado. As últimas duas etapas se deram através da construção do protótipo e os testes e modificações do protótipo. Como resultados, tem-se uma readequação do protótipo de uma mini-fresadora CNC utilizada na fabricação de pequenas peças para a pesquisa e o desenvolvimento de inovações no Núcleo de Inovação em Máquinas Automáticas e Servo Sistemas da UNIJUÍ. Esta pesquisa contou com o apoio da FAPERGS e do CNPq.

Palavras-chave: máquina CNC, projeto mecatrônico, construção de protótipos.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho descreve o reprojeto e a construção do terceiro grau de liberdade de uma mini-fresadora com comando numérico computadorizado (CNC). Atualmente, a utilização de máquinas CNC, seja por retirada ou deposição de material, surge como uma excelente solução para fabricação de peças com alta qualidade e precisão, desde que a produção não seja em grande escala.

Historicamente as máquinas CNC surgem da necessidade de fabricação de contornos complexos da geometria de hélices, conforme Machado (2006). Os comandos numéricos computadorizados, utilizados na programação destas máquinas, foram normatizados pela norma ISO 6983. Estes comandos são constituídos por palavras-chave, que compõem o conjunto de comandos responsável por dar instruções para o sistema de controle. Tusset (2006) define que estas instruções podem referir-se a uma movimentação específica dos eixos da máquina, a uma indicação de sentido de giro do eixo-árvore ou mesmo a um pedido de troca de ferramenta.

A necessidade de fabricação e usinagem de peças com geometrias complexas contribuiu para o início de uma etapa importante dos processos de fabricação, que se caracteriza pela utilização de computadores para auxílio à manufatura. A utilização de equipamentos auxiliados por comandos CNC, como fresadoras e tornos, permitiu uma produção em maior escala, melhoria na qualidade dos produtos, aumento dos índices de produtividade, e de um modo geral gerou uma melhoria nos processos produtivos na indústria.

O objetivo principal foi a adaptação de um novo porta-piça com possibilidade de uso de pinças para diversos diâmetros de fresas de topo. Originalmente o porta-piça de mini-fresadora CNC permitia a utilização de fresas com diâmetros de até 6 mm. Diante da necessidade de operação com diâmetros maiores, reprojeteu-se o terceiro grau de liberdade afim de que o porta-piça possa operar com fresas de até 12 mm de diâmetro.

Utilizou-se uma metodologia de projeto de produtos industriais, partindo inicialmente da análise das necessidades. Após esta análise, desenvolveu-se o projeto conceitual e em seguida o projeto detalhado. As últimas duas etapas se deram através da construção do protótipo e os testes e modificações do mesmo. Como resultados, tem-se uma readequação do protótipo de uma mini-fresadora CNC utilizada na fabricação de pequenas peças para a pesquisa e o desenvolvimento de inovações no Núcleo de Inovação em Máquinas Automáticas e Servo Sistemas da UNIJUÍ.

Utilizou-se a estrutura do NIMASS no Campus Panambi da UNIJUÍ, onde o protótipo foi construído.

No decorrer deste trabalho, apresentam-se uma revisão bibliográfica de sistemas mecatrônicos, máquinas CNC e a descrição da mini fresadora CNC utilizada (seção 2) e as etapas de projeto, desenvolvimento, fabricação, programação e testes de funcionamento (seção 3).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Sistemas Mecatrônicos

Segundo Valdiero (2012), sistemas mecatrônicos têm como características principais a separação explícita entre controle e potência, o aumento da complexidade do sistema, a segurança inerente dependente da confiabilidade de *hardware* e da análise de estabilidade e o enfoque no desenvolvimento de estratégias de controle, visando à compensação das características não lineares dos componentes mecatrônicos que prejudicam o desempenho.

Um sistema mecatrônico constitui-se basicamente de sistema de controle, acionamento e mecanismo. O sistema de controle é dado pelo conjunto de *hardware* e *software*. Nesse conjunto se encontra todo o esquema de controle que foi projetado para a máquina. O esquema de controle apresenta todos os elementos necessários para realizar o controle, sendo que estes elementos incluem desde sensores, até os conjuntos de circuitos que farão o processamento dos dados que são enviados para o sistema de acionamento.

O sistema de acionamento recebe os dados enviados pelo sistema de controle e os transforma na força ou o torque para criar o movimento da máquina. O sistema de acionamento pode ser realizado utilizando um motor elétrico, um atuador pneumático ou um atuador hidráulico. Entre esses três tipos de acionamento o que apresenta uma maior facilidade para ser controlado é o motor elétrico e o sistema que apresenta uma maior dificuldade é o atuador pneumático.

O mecanismo é o conjunto mecânico que recebe a força ou o torque que é mandado pelo sistema de acionamento e o converte em movimento. Esse movimento pode ser de translação ou rotação, isso irá depender diretamente do mecanismo adotado.

Na seção seguinte será abordado o sistema mecatrônico em questão, uma máquina CNC.

2.2. Máquinas CNC

Conforme Capelli (2006), o CNC é um computador utilizado no sistema de controle de movimentos de uma máquina operatriz. O movimento de cada eixo é convertido em grandezas numéricas através de dispositivos especiais e então processados pelo CNC.

A máquina CNC é programada de acordo com a peça que deve ser usinada, e também por meio da interface dos servomotores para executar os movimentos planejados. O CNC comanda os servomotores através de um *drive* de potência chamado de inversor de frequência, este controla a potência do motor por um sinal analógico.

A máquina utilizada neste estudo utiliza o código G como programação. Esta linguagem de programação é composta por um conjunto de letras e algarismos, os quais são responsáveis pela movimentação da mini fresadora CNC. Conforme Tusset (2006), estes códigos podem referir-se à movimentação específica dos eixos da máquina, a uma indicação de sentido de giro do eixo-árvore ou mesmo a um pedido de troca de ferramenta.

Para servomotores ligados aos eixos coordenados (X e Y), há um dispositivo que indica a correta posição em que o eixo se encontra, este dispositivo é conhecido como encoder, um transdutor óptico que gera impulsos seriais de referência. Esses impulsos são monitorados pelo CNC e então convertidos na forma de unidade de deslocamento.

Atualmente cada vez mais recursos ficam disponíveis em uma máquina com comando numérico computadorizado, visando principalmente maior produtividade, precisão, repetibilidade e confiabilidade.

2.3. Descrição da Mini Fresadora CNC

Tem-se máquinas CNC de grande porte, alta precisão, sistemas em malha fechada, utilização de fluidos de corte, sistemas de compensação. Há máquinas CNC mais simples, de pequeno porte, boa precisão, em malha aberta, sem utilização de fluidos de corte ou sistemas de compensação, nas quais se encontram a mini fresadora CNC utilizada neste trabalho, conforme Figura 1. Mini fresadora CNC utilizada neste trabalho



Figura 1. Mini fresadora CNC utilizada neste trabalho

Na Tabela 1. Comparativo entre os modelos oferecidos pelo fornecedor apresenta-se um comparativo entre os modelos oferecidos pelo fornecedor, a MTC Robótica. O modelo utilizado neste trabalho é um MTC-200 x 250. Possui área de usinagem XY de 200 mm x 250 mm. Deslocamento vertical máximo da ferramenta de corte em Z de 150 mm. Possui motor de corte com spindle de 4 Hp com ventilação a ar por ventoinha e velocidade de rotação programável entre 500 e 18000 RPM. Os motores de movimentação são do tipo de passo. A velocidade de deslocamento máximo (avanço) é de 3000 mm/min. A movimentação X-Y e a movimentação Z tem precisão por fusos de 0,02 mm/m.

Tabela 1. Comparativo entre os modelos oferecidos pelo fornecedor

Modelos	MTC-200x250	MTC-400x500	MTC-500x1000	MTC-1000x2000	MTC-2000x3000
Área de usinagem XY (mm x mm)	200 x 250	400 x 500	500 x 1000	1000 x 2000	2000 x 3000
Deslocamento vertical máximo da ferramenta de corte Z (mm)	150	150	200	200	200 ou 400
Dimensões da máquina LCA (mm)	514x478x670	762x687x729	841x1418x729	1290x2330	2400x3320x2900
Dimensões da caixa de comando LCA (mm)	418x382x174	418x382x174	542x382x174	542x382x174	791x427x244
Massa total (kg)	260	390	590	608	780
Motor de corte	Spindle de 1, 4 ou 10 hp	Spindle de 1, 4 ou 10 hp	Spindle de 1, 4 ou 10 hp	Spindle de 1, 4 ou 10 hp	Spindle de 1, 4 ou 10 hp
Refrigeração do motor de corte	ar (ventoinha), ar comprimido ou água	ar (ventoinha), ar comprimido ou água	ar (ventoinha), ar comprimido ou água	ar (ventoinha), ar comprimido ou água	ar (ventoinha), ar comprimido ou água
Velocidade de rotação do motor de corte (RPM)	Programável de 500 a 18000 ou 24000	Programável de 500 a 18000 ou 24000	Programável de 500 a 18000 ou 24000	Programável de 500 a 18000 ou 24000	Programável de 500 a 18000 ou 24000
Motores de movimentação	Motor-de-passo ou servo-motor	Motor-de-passo ou servo-motor	Motor-de-passo ou servo-motor	Motor-de-passo ou servo-motor	Motor-de-passo ou servo-motor
Velocidade de deslocamento máximo (mm/min)	3000 ou 9000	3000 ou 9000	3000 ou 9000	3000 ou 9000	3000 ou 9000
Movimentação X-Y precisão (mm/m)	Fusos 0,02	Fusos 0,02	Fusos 0,02	Fusos 0,02	Fusos 0,02
Movimentação Z precisão (mm/m)	Fusos 0,02	Fusos 0,02	Fusos 0,02	Fusos 0,02	Fusos 0,02
Material estrutural	Alumínio naval/aço	Alumínio naval/aço	Alumínio naval/aço	Alumínio naval/aço	Alumínio naval/aço
Opcionais	4º eixo, Cabine anti-ruído, Exaustor de pó, Bomba de líquidos, Desloc. eixo Z maiores	4º eixo, Cabine anti-ruído, Exaustor de pó, Bomba de líquidos, Desloc. eixo Z maiores	4º eixo, Cabine anti-ruído, Exaustor de pó, Bomba de líquidos, Desloc. eixo Z maiores	4º eixo, Cabine anti-ruído, Exaustor de pó, Bomba de líquidos, Desloc. eixo Z maiores	4º eixo, Cabine anti-ruído, Exaustor de pó, Bomba de líquidos, Desloc. eixo Z maiores

A mini fresadora apresenta como *software* de controle *Mach3* (Fig. 2-a), da empresa Newfangled Solutions. Seu sistema de acionamento são motores elétricos (Fig 2-b). Os mecanismos são fusos com rosca helicoidal (Fig. 2-c). O *software Mach3* faz a leitura e a interpretação do código G que foi gerado pelo *software* de CAM.



Figura 2. Componentes do sistema mecatrônico da mini fresadora CNC

Após a interpretação, o *software Mach3* envia o comando para o motor elétrico que inicia seu funcionamento, gerando o torque necessário para girar o fuso. O fuso transforma o torque que recebe em um movimento linear, criando desta forma o deslocamento dos eixos da mini fresadora CNC.

3. METODOLOGIA DE PROJETO APLICADA

Aplicou-se a metodologia de projeto de produtos mecatrônicos conforme descrita em Valdiero e Rasia (2016). Partiu-se inicialmente da análise das necessidades. A necessidade do cliente está diretamente ligada ao custo de investimento. Constatou-se que o porta-piças da mini fresadora CNC só permitia a utilização de fresas com diâmetros de até 6 mm. Nesta etapa identificou-se os requisitos mínimos que o projeto deveria abranger. O objetivo principal foi a adaptação de um novo porta-piça com possibilidade de uso de pinças para diversos diâmetros de fresas de topo.

Posteriormente realizou-se uma técnica de análise funcional de sistemas (FAST), conforme apresentado em Figura 3. Diagrama FAST para estudo da análise das necessidades. Descrito por Valdiero (1997), o diagrama FAST constituiu-se de partir da função desejada no produto até se chegar em funções de nível mais básicas. Estas funções definem-se por um verbo seguido de um substantivo.

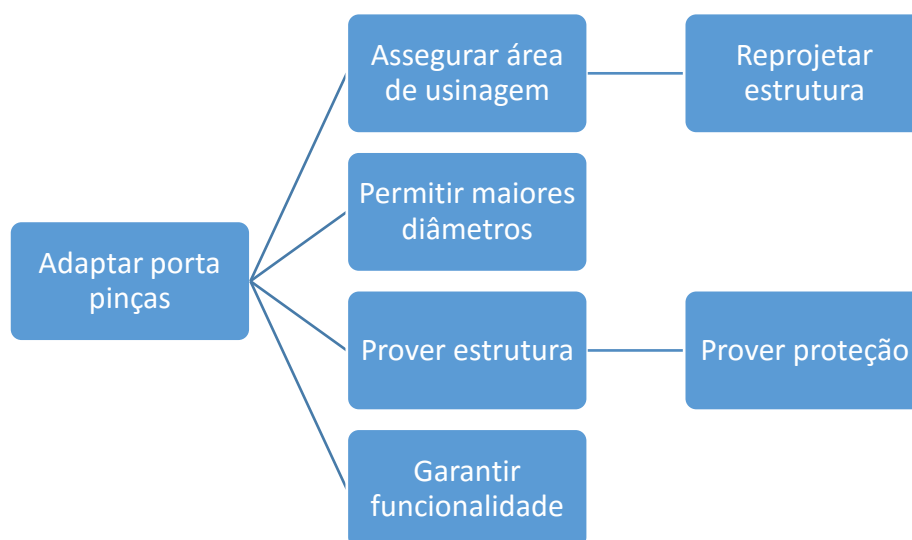


Figura 3. Diagrama FAST para estudo da análise das necessidades

4. RESULTADOS

Por se tratar de um sistema mecatrônico em malha aberta, a fresadora CNC em estudo apresenta algumas limitações. Dentre elas, salienta-se a ausência de enclausuramento (limitação de segurança e ruído), ausência de mecanismo de captação de partículas, ausência de dispositivo para medição de posição (limitação de precisão) e limitação ferramental, a qual desencadeou esta pesquisa.

Após a análise de necessidades, desenvolveu-se o projeto conceitual. Partindo da necessidade de assegurar a área útil de usinagem da máquina, cujos valores são de 200 mm x 250 mm, nos eixos XY, e 150 mm, no eixo vertical Z, desenvolveu-se a maquete eletrônica utilizando o *software Solidworks*, conforme Figura 4. Maquete eletrônica utilizando o *Solidworks*

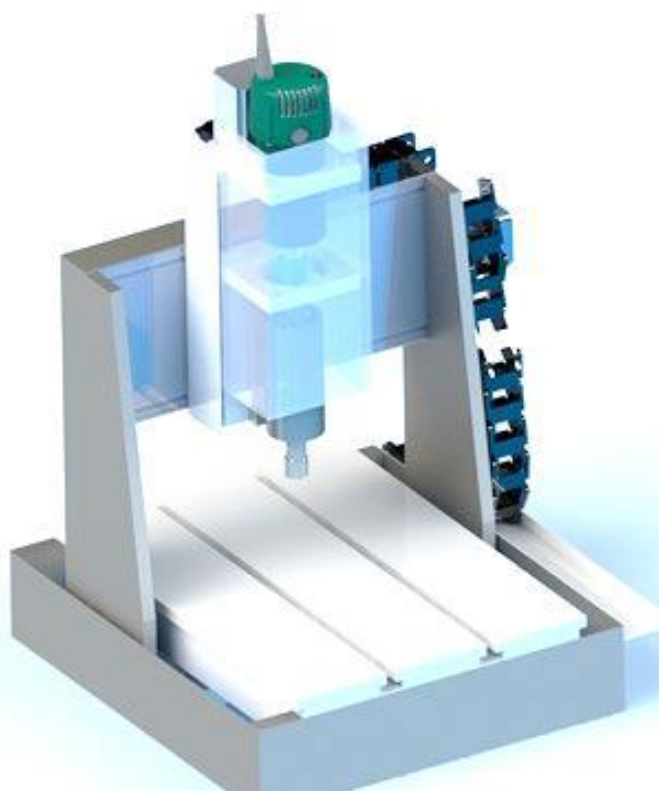


Figura 4. Maquete eletrônica utilizando o *Solidworks*

Concluído o projeto conceitual, desenvolveu-se em seguida o projeto detalhado. Utilizou-se um novo mandril porta pinça de haste paralela, modelo D20x150-ER16M, marca *Diamond*. Com este novo mandril permite-se a utilização de uma nova pinça, a qual possibilita o uso de fresas de topo com até 12 mm de diâmetro.

Devido a alteração do mandril do porta pinças, necessitou-se alterar o projeto e estrutura do terceiro grau de liberdade. Desenvolveu-se uma camisa para o porta pinças, utilizando dois rolamentos do modelo 6204, marca SKF. Também utilizou-se anéis elásticos para eixo de 45 mm e anéis elásticos para furos de 20 mm. Desenvolveu-se uma adaptação utilizando uma chapa, a qual é responsável por garantir o nivelamento nos eixos XY. Figura 5. Maquete eletrônica do conjunto de adaptação apresenta a maquete eletrônica, projetada utilizando o *software Solidworks*, do conjunto camisa-chapa de nivelamento-mandril.



Figura 5. Maquete eletrônica do conjunto de adaptação

Projetadas no *Solidworks*, as peças deste conjunto foram fabricadas utilizando o centro de usinagem da UNIJUI, modelo DM 2016, do fabricante *Dyna Mechatronics*. Figura 6. Peças usinadas apresenta as peças usinadas. Utilizou-se perfis constituídos de aços SAE 1020 para fabricação destas peças.

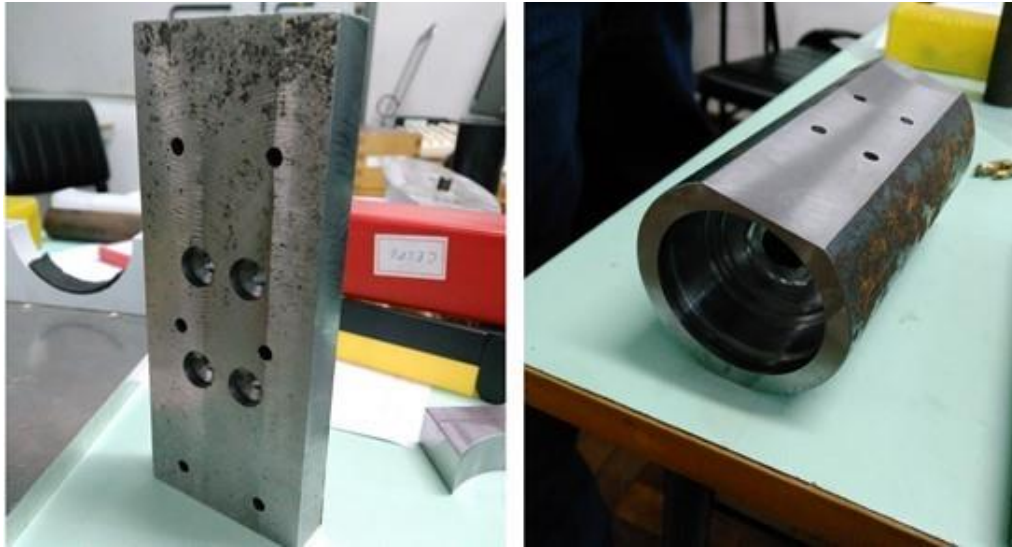


Figura 6. Peças usinadas para melhorias do protótipo da mini-fresadora CNC.

As últimas duas etapas se deram através da construção do protótipo (Fig. 7) e os testes e modificações do protótipo.

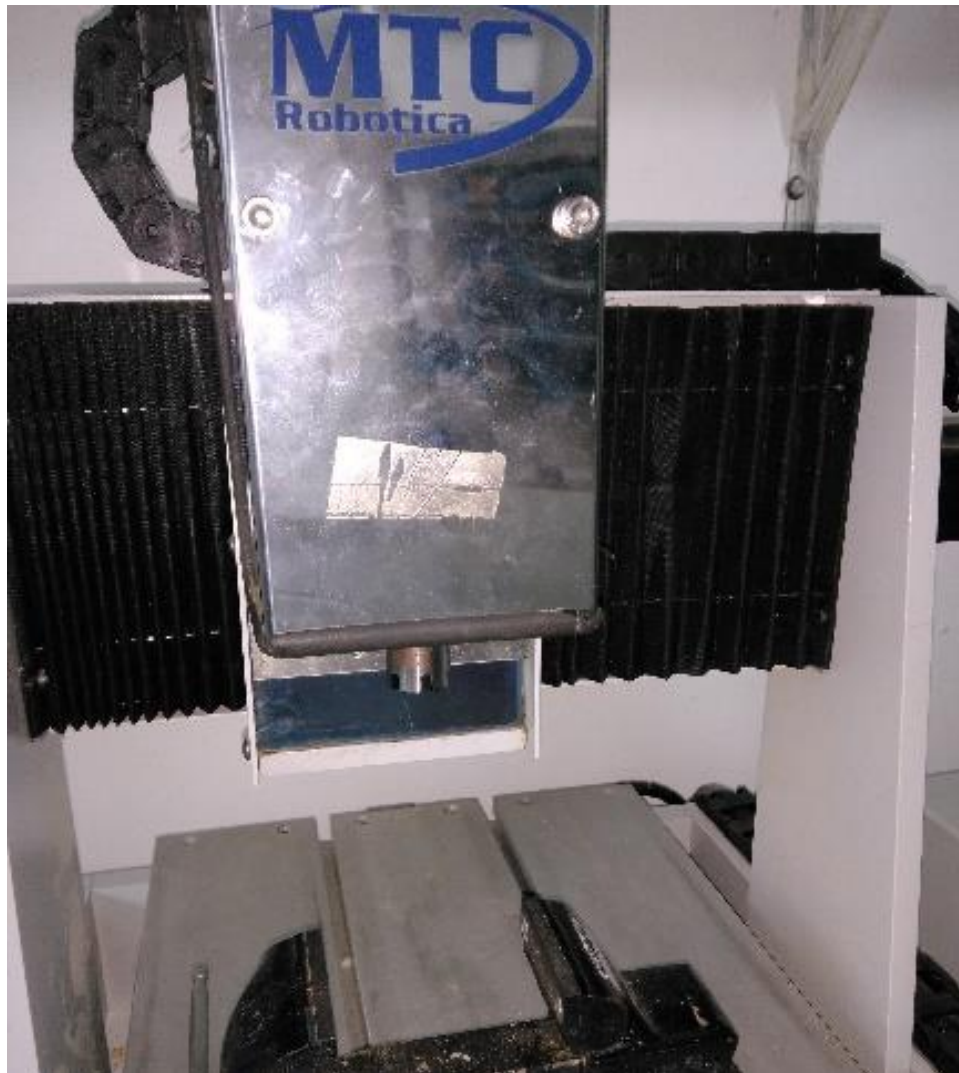


Figura 7. Fotografia do protótipo da mini-fresadora CNC com as melhorias do terceiro grau de liberdade

Para a realização dos testes, inicialmente desenvolveu-se a maquete eletrônica no *Solidworks* (Fig. 8-a). Este arquivo foi salvo no formato STEP (.stp), e posteriormente processado no *software* *Edgecam* (Fig. 8-b). No *Edgecam*,

realizou-se o reconhecimento das *features*, simulação da usinagem e por fim, geração do código G. O código G é salvo em um bloco de notas, no formato .txt. Estes dados salvos no bloco de notas são processados pelo *software* de controle da mini fresadora CNC, o *Mach3*. Através de portas de comunicação serial, é feita a comunicação entre o comando e o computador. Estes sinais de controle enviados pelo *software Mach3* são enviados ao acionamento da mini fresadora CNC (fusos) e estes, através de torques, movimentam os mecanismos da mini fresadora CNC, realizando a usinagem. Destaca-se que a funcionalidade do protótipo foi mantida, com a peça usinada pela mini fresadora CNC, após o reprojetado do terceiro grau de liberdade, concluída (Fig. 8-c).

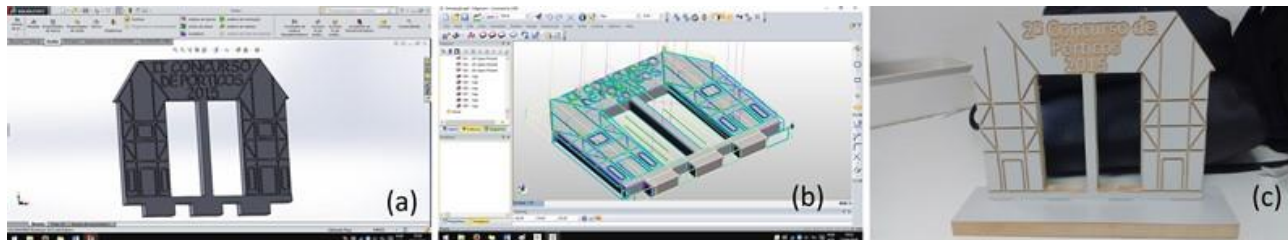


Figura 8. Processo de fabricação e testes do protótipo

5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Este trabalho apresentou as etapas de reprojetado e construção do terceiro grau de liberdade de uma mini fresadora CNC utilizada na fabricação de pequenas peças para a pesquisa e desenvolvimento de inovações no Núcleo de Inovação em Máquinas Automáticas e Servo Sistemas da UNIJUÍ.

Utilizou-se a metodologia de projetos de produtos industriais descritas por Valdiero (1997) para a determinação das etapas para realização do reprojetado do terceiro grau de liberdade.

Pretende-se contribuir para o estudo de sistemas mecatrônicos e máquinas com comando numérico computadorizado (CNC), tendo em vista que se tratam de assuntos com maior enfoque comercial e pouco interesse de pesquisa. Como perspectivas futuras tem-se o desenvolvimento de novas soluções que contribuam com a melhoria da eficiência desta máquina estudada. A adaptação do porta pinças permite a utilização de fresas de topo com o dobro de diâmetro do projeto original da máquina CNC.

6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil. Os autores são agradecidos também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelas bolsas de iniciação científica e desenvolvimento tecnológico, à UNIJUÍ pela infraestrutura do Núcleo de Inovação em Máquina Automáticas e Servo Sistemas (NIMASS), implantado com recursos provenientes da FAPERGS, do SEBRAE e do FINEP/SEBRAE/MCT num convênio de interação Universidades-Empresas do Arranjo Produtivo Local Metal-Mecânica e modernizado recentemente com o apoio financeiro no âmbito do Programa de P&D da ANEEL, atualmente credenciado pela Agência Nacional de Petróleo (ANP).

7. REFERÊNCIAS

- Capelli, A., 2008, “Automação industrial: controle do movimento e processos contínuos”, Ed. Érica, São Paulo, Brazil, 240p.
- Machado, A., 2006, “Descobrimto e Aplicação do Comando Numérico CN”, Revista O MUNDO DA USINAGEM, Nº 28, Edição 4/2006, Sandvik do Brasil S.A, São Paulo, pp. 30 – 32.
- Tusset, F., 2006, “Integração CAD – CAM – CNC aplicada ao centro de usinagem do Laboratório de fabricação assistida da UNIJUÍ”, Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Mecânica), UNIJUÍ.
- Valdiero, A.C.; Rasia, L.A., 2016, “Gestão de projetos de pesquisa e desenvolvimento de produtos mecatrônicos”, In: Valdiero, A.C.; Thesing, N.J. (Eds.), Desafios em Engenharia Industrial, Ed. Unijuí, Ijuí, Brasil.
- Valdiero, A. C., 2012, “Modelagem matemática de robôs hidráulicos”, Ed. Unijuí, Ijuí, Brasil, 200p.
- Valdiero, A. C., 1997, “Inovação e desenvolvimento do projeto de produtos industriais”. Ed. Unijuí, Ijuí, Brasil.

8. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF THIRD DEGREES OF FREEDOM OF A MINI-MILLING MACHINE CNC

Odmartan Ribas Maciel¹, odeijui@hotmail.com
Ivan Junior Mantovani¹, ivan.mantovani8@gmail.com
João Paulo Weselovski da Silva¹, jpsw1994@yahoo.com.br
Felipe Oliveira Bueno¹, felipe.ob127@yahoo.com.br
Andrei Fiegenbaum¹, andrei.fig@hotmail.com
Mônica Raquel Alves¹, www.monicaalves@hotmail.com
Felipe Tusset¹, felipe.tusset@unijui.edu.br
Luiz Antonio Rasia¹, rasia@unijui.edu.br
Antonio Carlos Valdiero¹, valdiero@unijui.edu.br

¹ Regional Northwest University of Rio Grande do Sul (UNIJUÍ), Rua Prefeito Rudi Franke – 540, 98280000, Panambi/RS

Abstract. *This paper describes the redesign and the construction of the third degree of freedom of a Mini milling machine with a computer numeric control (CNC). The main objective was the adaptation of a new holder clamp with the possibility of use of clamps for different diameters of end mills. It presents the design steps, development, manufacturing, programming and operating tests. The manufacture and machining process need of mechanical parts with complex geometries contributed to the beginning of an important stage of the manufacturing process, characterized by the use of computers aided manufacture. The use of equipment aided by CNC commands, such as milling machines and lathes, allowed a larger-scale production, improved product quality, increased productivity rates, and generally generated an improvement in production processes in industry. It used a design methodology of industrial products, initially based on the needs analysis. After this analysis, it was developed the conceptual design and then the detailed design. The last two steps are given by prototype construction and testing and modification of the prototype. As a result, there is an adaptation of the prototype of a mini-CNC milling machine used in the manufacture of small parts for research and development of innovations in the Innovation Center for Automatic Machines and Servo Systems of UNIJUÍ. This research was supported FAPERGS and CNPq.*

Keywords: *CNC machine, mechatronic design, prototypes building*