

Desenvolvimento de uma mesa birrotativa modular para integração com fresadoras CNC de baixo custo visando usinagens de modelos complexos em cinco eixos simultâneos¹

Laryssa P. Cherem

Pesquisadora, Mecatrônica Industrial IFSC

laryssa.cherem@gmail.com

Nelso G. Bonacorso

Orientador, Mecatrônica Industrial IFSC

nelso@ifsc.edu.br

Felício J. Gesser

Orientador, Mecatrônica Industrial IFSC

fgesser@ifsc.edu.br

Resumo: A usinagem de modelos com geometria complexa é uma atividade bastante executada na indústria de manufatura. Contudo, dependendo da complexidade do modelo a ser usinado em máquinas de três eixos, o processo torna-se demorado ou até mesmo impossível de ser realizado. Os modelos complexos são fabricados utilizando-se fresadoras CNC de porte industrial com quatro ou cinco eixos, porém, o elevado custo destes equipamentos torna a aplicação inviável, principalmente nas situações que envolvem a fabricação de produtos com baixo valor agregado. O presente artigo descreve o desenvolvimento de uma mesa birrotativa modular com seu sistema de acionamento e controle para integração em fresadoras CNC de três eixos de baixo custo aplicadas na modelagem e prototipagem rápida. Este tipo de desenvolvimento é muito promissor pelo fato de abrir uma possibilidade de expandir recursos de interpolação de uma fresadora com o mínimo de alterações mecânicas e elétricas na máquina original, podendo também voltar a operar em sua configuração original. Um protótipo foi construído e instalado na fresadora CNC TRIAC PC com o objetivo de validar o conceito de integração e modularidade. O modelo virtual da configuração cinemática foi gerado em sistema CAD/CAM para possibilitar a programação em cinco eixos simultâneos.

Palavras-Chave: fresadora CNC, fresadora cinco eixos, projeto modular, integração de máquinas, mesa birrotativa.

1 Introdução

Segundo Chang (2005) uma máquina com comando numérico computadorizado (CNC) possui a função de fazer com que a ferramenta siga de forma precisa e automática uma trajetória pré-programada através de instruções codificadas. Nesse sentido, os controladores CNC baseados em PC surgem como uma opção potencial para o controle flexível de baixo custo para máquinas do setor de fabricação, tais como: mesas XY para corte de materiais, robôs manipuladores cartesianos, tornos, fresadoras e centros de usinagens. Estas máquinas representam a automação do processo de fabricação, com o compromisso de aumentar a produtividade, diminuir as horas de trabalho e evitar futuros

re-trabalhos, segundo Chung (2008).

Além disso, as empresas de fabricação necessitam cada vez mais de flexibilidade de adaptação em diferenciadas tarefas. O atendimento desta demanda reduz gastos com aquisições de novos sistemas e com treinamento de operadores. Um caso típico de flexibilização é a integração de eixos rotativos em fresadoras cartesianas permitindo assim usinagem de peças complexas.

A usinagem de modelos complexos via fresadoras CNC de cinco eixos é uma tarefa muito requerida pelas indústrias de fabricação. Modelagem de utensílios domésticos, de jóias, peças de automóveis e de navios são exemplos de aplicação desta tecnologia de usinagem em cinco eixos. Por outro lado, o custo elevado de fresadoras de cinco eixos industriais torna proibitiva a aplicação desta tecnologia em produtos de baixo

¹ RTC, Florianópolis, SC, v.02, nº 01, p.24-32, 2010

valor agregado e de pequeno volume de produção.

Uma solução de flexibilização descrita neste artigo, no sentido de minimizar custos, é integrar uma mesa birrotativa modular com dois eixos rotativos a uma fresadora CNC com três eixos prismáticos de baixo custo para realizar usinagens em cinco eixos simultâneos.

2 Fresadora CNC 5-eixos

A concepção macro inicial do projeto de flexibilização está representada na Figura 1. A integração da fresadora TRIAC PC (três eixos prismáticos) com a mesa birrotativa (dois eixos rotativos) resultou em uma fresadora CNC de cinco eixos. Para garantir modularidade e segurança em usinagens com quatro ou cinco eixos simultâneos foi necessário elaborar um circuito de intertravamento global do sistema. Na essência esse circuito interrompe o funcionamento da máquina em situações de risco ou falha dos sistemas de alimentação e/ou componentes. A utilização da fresadora original é também garantida nesta integração.

O controlador CNC de baixo custo baseado em PC Mach3 fornece os sinais de comando dos atuadores e recebe os sinais dos sensores por meio dos dois canais paralelos.

2.1 Projeto mecânico

Após diversas pesquisas e coletas de informações em produtos correspondentes já existentes no mercado,

foram obtidas as necessidades dos usuários e de projeto. As necessidades dos usuários após serem levantadas e mensuradas, foram traduzidas para uma linguagem mais técnica, sendo transformadas em requisitos do projeto. Os principais requisitos são: modularidade, integrabilidade, resolução, repetitividade, exatidão de posicionamento angular, número de componentes padronizados, mínimo número de peças, tempo médio entre falhas, tempo médio entre manutenções corretivas, geometrias de referência, geometrias de fixação e cinemática configurável no CAM. Toda esta etapa foi realizada durante o desenvolvimento do projeto obtendo-se como resultado o projeto detalhado da mesa birrotativa.

A mesa birrotativa possui como dimensão máxima 372 mm de comprimento, 120 mm de largura e 156 mm de altura, com possibilidade de rotacionar os eixos A e C simultaneamente, o primeiro com faixa de deslocamento angular de $+90^\circ$, e o segundo com faixa de deslocamento angular livre, ambos com resolução angular de $0,001^\circ$. O tamanho máximo do bloco para usinagem é de 80 mm de comprimento, 50 mm de largura e 50 mm de altura. A mesa bi rotativa é fixada na fresadora através de quatro parafusos e porcas "T". A peça a ser usinada deve possuir um furo roscado em sua face inferior, no qual será inserida a cabeça de um parafuso já previamente fixado à mesa. Outro componente que vale ser ressaltado é a consideração de furos presentes na base da mesa birrotativa para saída de cavacos, não permitindo o travamento desta.

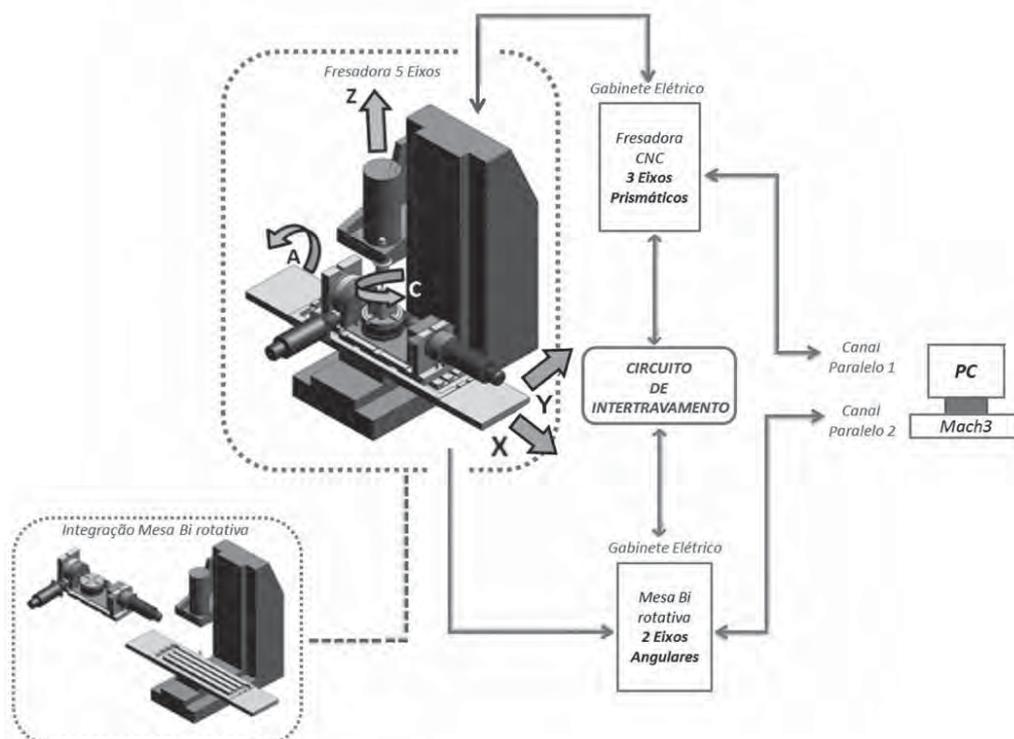


Figura 1 - Diagrama simplificado da fresadora 5-eixos

O projeto mecânico foi desenvolvido em ambiente CAD (Computer Aided Design) por meio do software SolidWorks®. A concepção mecânica renderizada, pode ser visualizada na Figura 2.

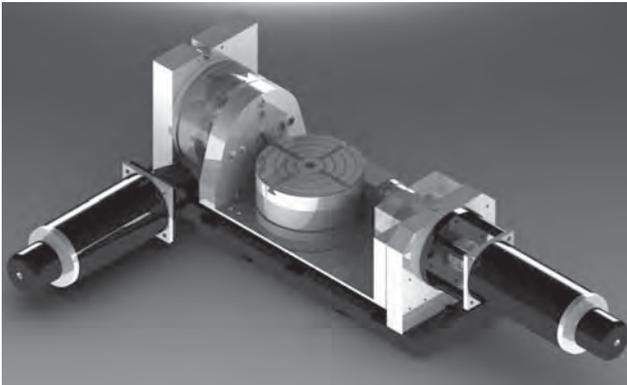


Figura 2 - Concepção final da mesa birrotativa acionada por motores de corrente contínua

A maioria das peças da mesa birrotativa é de alumínio 2024 (material largamente utilizado em construções aeronáuticas), e foram usinadas no CNC ROMI Discovery 560. Através do software Edgecam foi realizada a programação das peças em código G (linguagem utilizada no centro de usinagem CNC) - chamada de passagem do desenho em ambiente CAD para ambiente CAM (Computer

Aided Manufacturing) - possibilitando assim a usinagem das peças na máquina ferramenta CNC.

2.2 Sistema Eletroeletrônico

Após um estudo realizado nos circuitos eletrônicos, presentes no gabinete da fresadora original, deu-se início ao desenvolvimento dos circuitos eletrônicos da mesa birrotativa. A Figura 3 apresenta o diagrama de potência da mesa birrotativa. Neste diagrama é possível observar a alimentação das placas de circuito. Uma chave geral, representado no diagrama como C.G. alimenta todo o circuito com tensão alternada monofásica de 220 V/ 60 Hz.

É utilizado um contato do relé ESR do circuito de intertravamento, disposto no gabinete da fresadora, para interromper o fornecimento de energia aos servodrivens em situações de funcionamento indesejáveis.

Caso o eixo A ultrapassar a sua faixa angular de funcionamento, sensor FCA+ ou FCA- acionado, um sinal de parada de emergência é enviado ao controlador CNC Mach3 via a placa de interface.

Para o correto funcionamento da fresadora de cinco eixos e do intertravamento entre os dois gabinetes elétricos, foi desenvolvido um sistema eletroeletrônico conforme mostra a Figura 4.

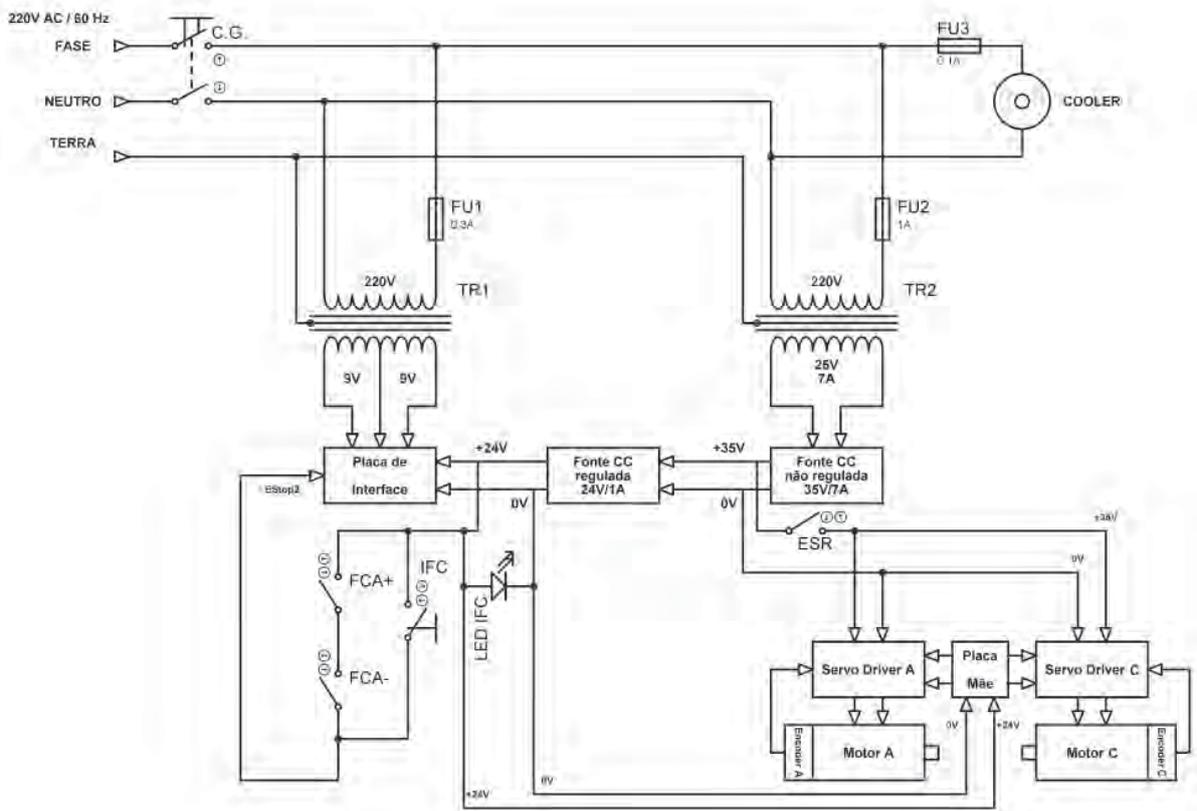


Figura 3 - Diagrama de blocos do circuito de potência

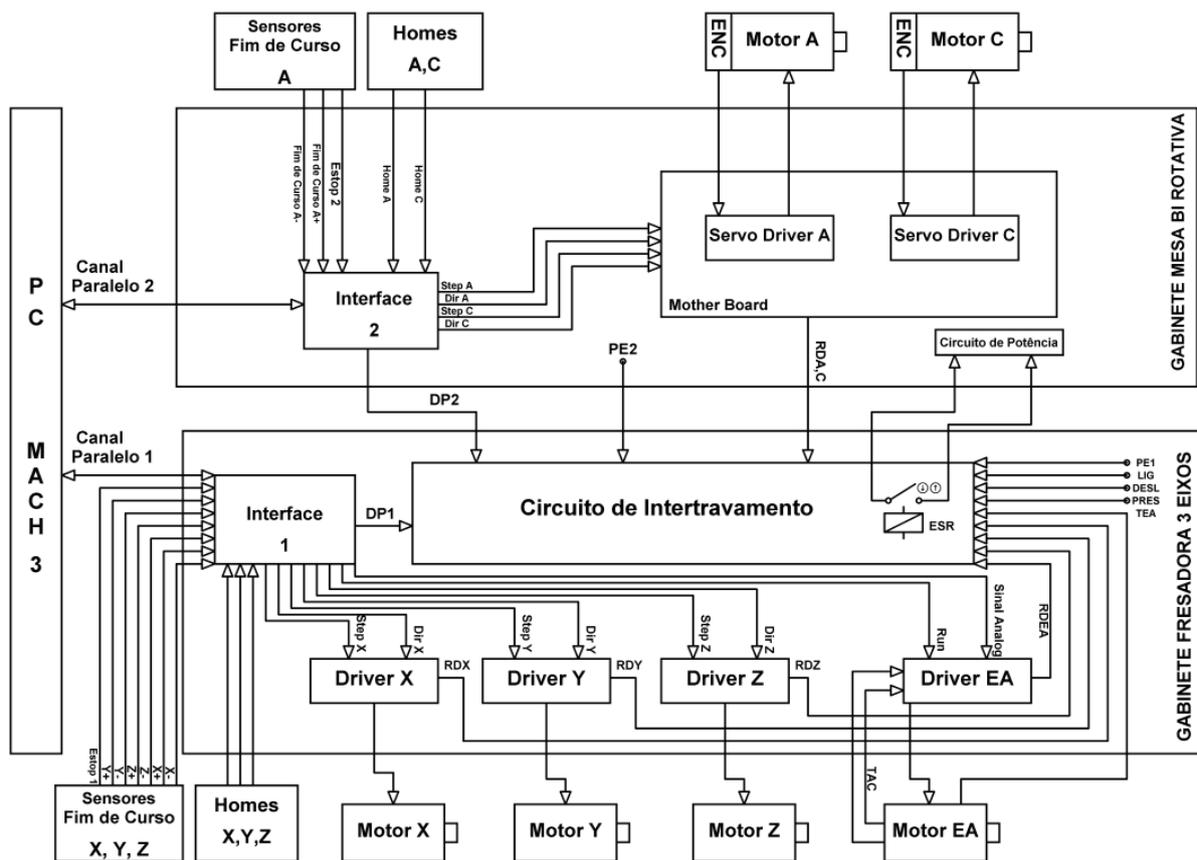


Figura 4 - Diagrama de blocos de sinais da fresadora de cinco eixos

Com a finalidade de evitar destruição da ferramenta e/ou da peça a ser usinada e também garantir a segurança e integridade tanto da fresadora quanto da mesa birrotativa, foi desenvolvido um circuito de intertravamento.

Este circuito lógico interrompe o fornecimento de energia dos drivers tanto da fresadora, quanto da mesa birrotativa, por meio do desacionamento do relé ESR, nas seguintes situações:

- acionamento manual dos botões de desliga (DESL);
- parada de emergência (PE1 ou PE2);
- pressão de ar insuficiente (PRES);
- temperatura excessiva do motor do eixo-árvore (TEA);
- falha elétrica detectada pelos drivers dos eixos X, Y, Z, árvore, A e C (RD);
- ausência do controlador CNC Mach3 (DP1, e DP2).

Quando um dos sensores de fins de curso da fresadora (FCX+, FCX-, FCY+, FCY-, FCZ+, FCZ-) é acionado informando a saída da ferramenta do espaço de trabalho da máquina, um sinal de parada é enviado ao controlador Mach3. Neste caso, o controlador Mach3 inibe o comando

dos drivers. O funcionamento é restabelecido através do acionamento do botão AXIS para condução da ferramenta para dentro do espaço de trabalho. Os fins de curso da mesa birrotativa (FCA+ e FCA-), presentes no circuito de potência, Figura 3, funcionam da mesma maneira dos demais fins de curso.

Um importante recurso do controlador CNC Mach3 é o envio de um sinal digital (DP) pelo canal paralelo, este sinal possui uma frequência 12 kHz e razão cíclica de 50%, somente quando o respectivo programa do controlador Mach3 estiver sendo executado no computador. A placa de condicionamento de sinais utilizada, Figura 5 possui um circuito que isola, amplifica e reconhece o sinal de presença do hospedeiro, controlador Mach3, que através do acionamento de um relé habilita os contatos ESR do circuito lógico de intertravamento, liberando assim energia elétrica para os drivers da fresadora CNC e da mesa birrotativa. Esta placa foi desenvolvida no IF-SC, com finalidade de ser uma placa de condicionamento de sinais didática e genérica, possibilitando a utilização dos alunos da graduação tecnológica de Mecatrônica Industrial em seus projetos integradores.

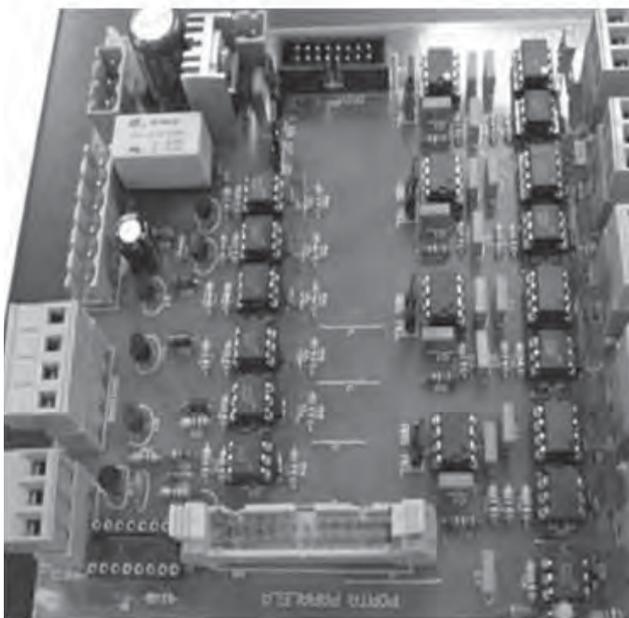
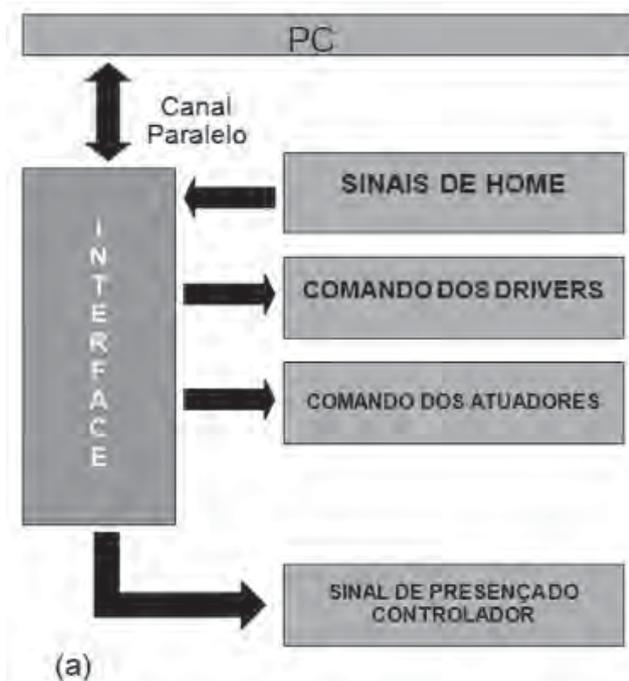


Figura 5 - Diagrama de blocos (a), placa de interface de sinais entre PC e máquinas (b)

2.3 Programação

O controlador CNC Mach3 atualmente é uma opção potencial de controle flexível de baixo custo para máquinas. É um controlador CNC baseado em PC que viabiliza o comando de máquinas com até seis eixos, segundo Art Soft (2008). Durante sua utilização na integração da mesa birrotativa com a fresadora de 3 eixos, sua interface de entrada e saída é realizada através de duas portas paralelas padrão do PC. O canal paralelo 1 destinado a conexão com o gabinete elétrico da fresadora CNC, Figura 6 (a), e o canal paralelo

2 é o responsável pela conexão com o gabinete elétrico da mesa birrotativa, Figura 6 (b). O Mach3 pode acionar motores de passo e também servomotores DC/AC através de seus respectivos drivers que utilizam o padrão de comandos step e dir, sendo assim neste projeto é possível visualizar o emprego de ambas tecnologias, onde a fresadora é acionada através de motores de passo e a mesa birrotativa utiliza servomotores CC com escovas.

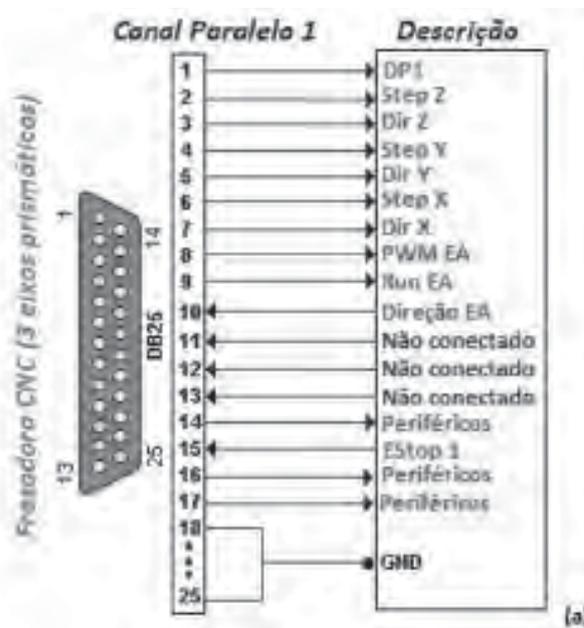


Figura 6 - Configuração das portas paralelas do PC

Uma característica bastante atrativa no Mach3 é a flexibilidade. Como se trata de um CNC aberto, o projetista de máquinas tem, a sua disposição, uma ampla possibilidade de hardwares e configurações. As telas, os botões e as caixas de diálogo são personalizadas de acordo com cada aplicação,

segundo Artsoft (2008). A tela principal do programa do controlador Mach3 possui vários campos para configuração e comandos de funções, Figura 7.

Na região superior esquerda visualiza-se o programa em código G relativo às trajetórias de movimento. As mesmas são apresentadas na região superior direita dessa tela principal. Já na posição superior central da tela principal

encontram-se as posições correntes dos eixos, bem como a opção de referenciar as juntas. As opções de leitura, edição, partida e parada de execução do programa em código G, entre outros, é acessado na região inferior esquerda da tela principal. A velocidade de avanço da ferramenta pode ser alterada no transcorrer da execução de uma trajetória no campo denominado Feed Rate da tela principal.

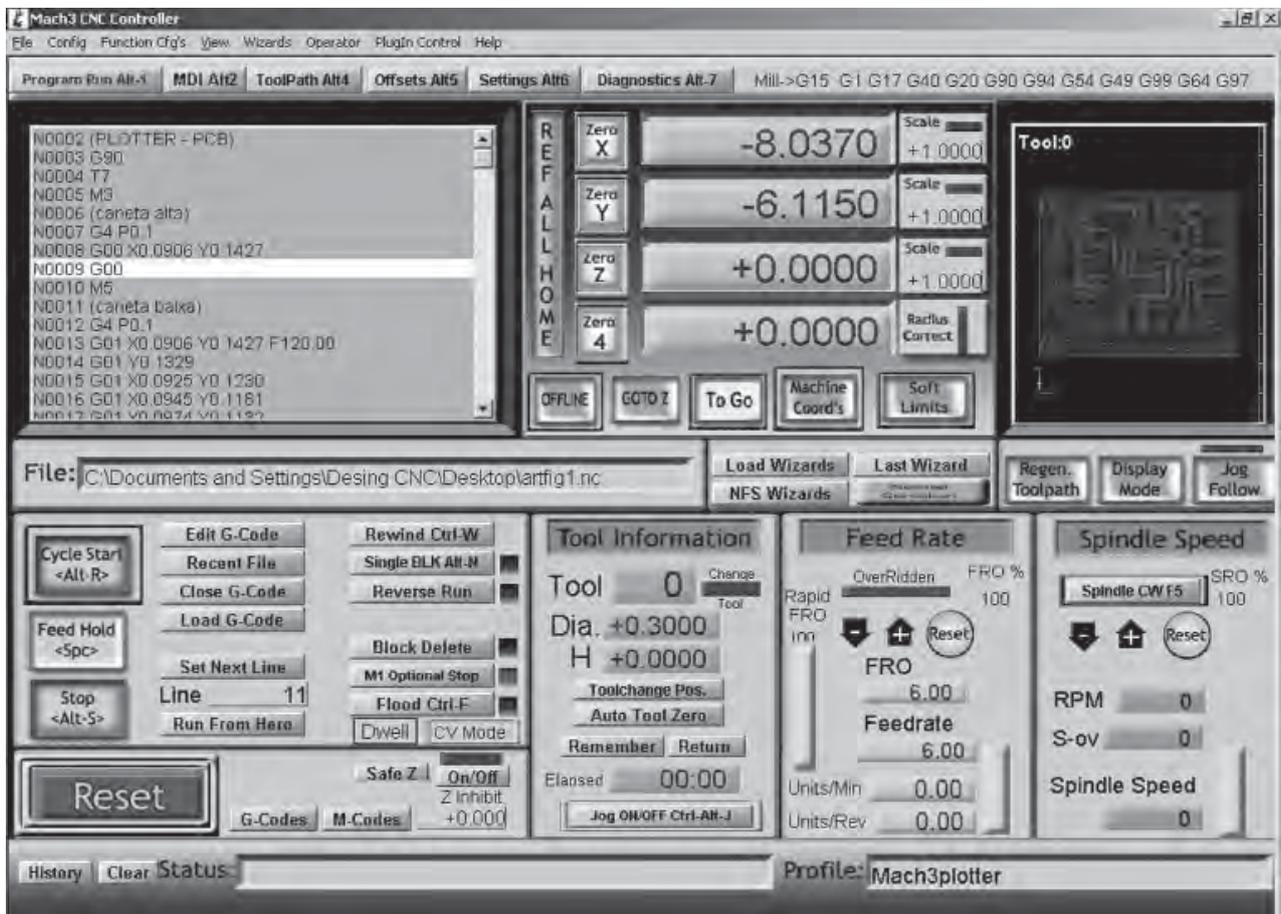


Figura 7 – Tela principal do controlador Mach3

3. Resultados Experimentais

Para a realização dos primeiros resultados experimentais foi necessário a utilização de um software denominado R2xTune, para a configuração dos servodrivvers. Este software opera em plataforma Windows XP. O modelo escolhido para a aplicação na mesa birrotativa foi o R2010 (100V/20A Brush Motors,) com comunicação via porta paralela do PC, segundo o fabricante RUTEX (2008).

Desta maneira foi parametrizado, utilizando a metodologia descrita por Carvalho (2009), o compensador PID (Proporcional, Integral e Derivativo) e as demais variáveis

de cada servoacionamento conforme mostra a Figura 8. O objetivo desta etapa de parametrização é obter um posicionamento rápido dos eixos rotativos da mesa com erro nulo em regime permanente e sobrepassagem menor que 10 %, como mostra a Figura 9.

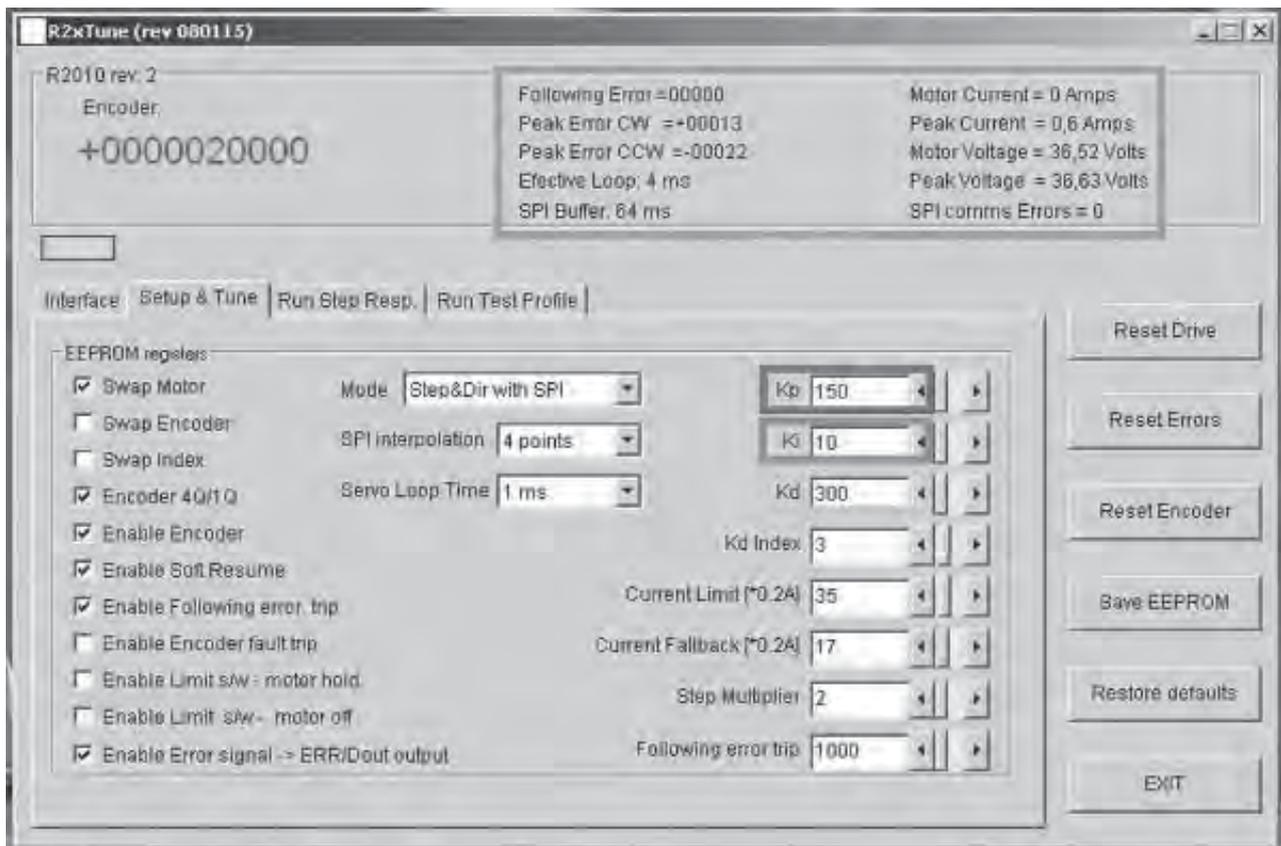


Figura 8 - Parâmetros do compensador PID e das variáveis do eixo A da mesa birrotativa

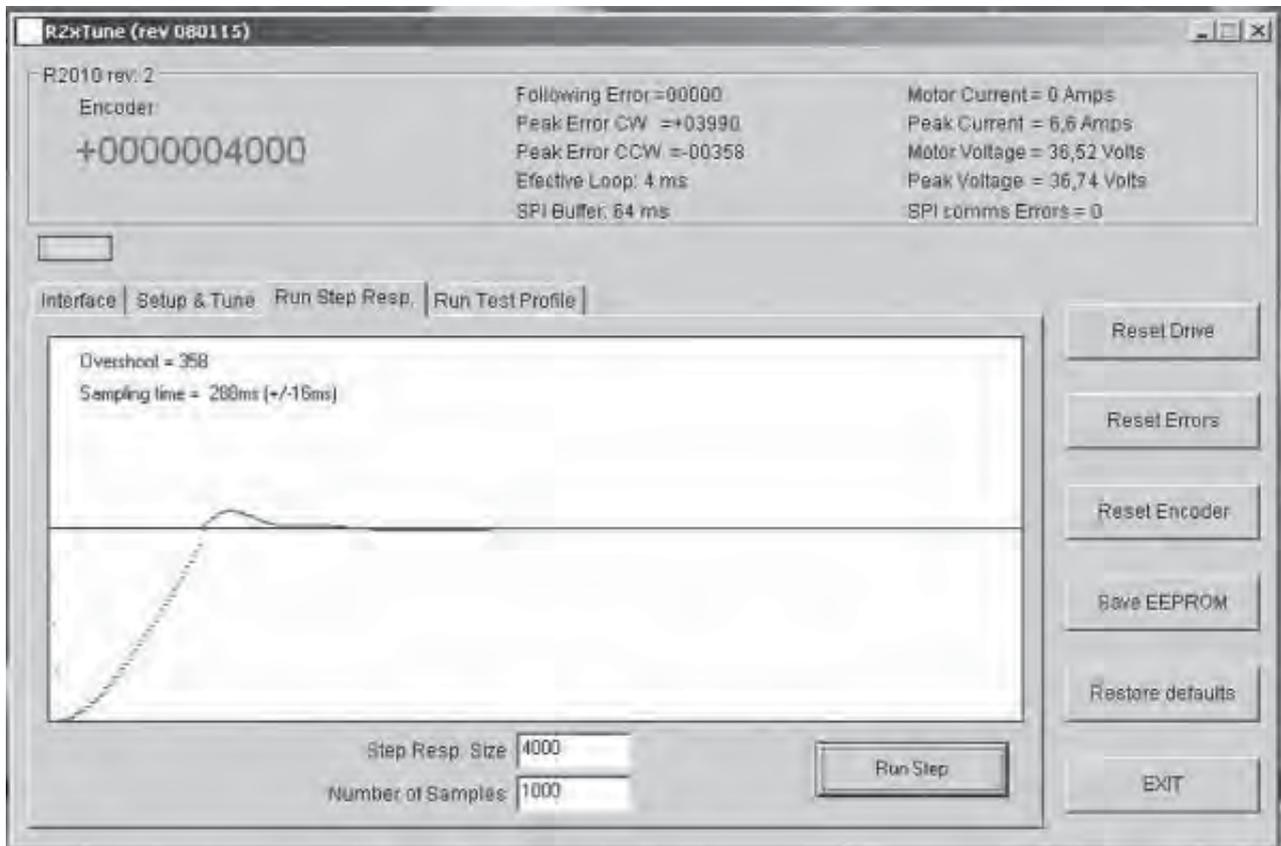


Figura 9 - Curva resposta, posição versus tempo, do eixo A da mesa birrotativa

Como resultado obtido tem-se a integração da mesa birrotativa com a fresadora de 3 eixos, possibilitando assim a usinagem com 5 eixos (3 prismáticos e 2 angulares). Um fato importante a ser salientado é a vantagem de se retroceder facilmente a configuração inicial da fresadora, pois todas as conexões elétricas e mecânicas são modulares. Com a concepção de usinagem em cinco eixos simultâneos, é

aberta a possibilidade de se modelar peças complexas que não podem ser confeccionadas em apenas três eixos. A fresadora CNC de cinco eixos pode ser conferida pela Figura 10, onde é possível visualizar a fresadora TRIAC PC, a mesa birrotativa, o gabinete da fresadora TRIAC PC em preto, o gabinete da mesa birrotativa em frente ao gabinete da fresadora, juntamente com o PC.

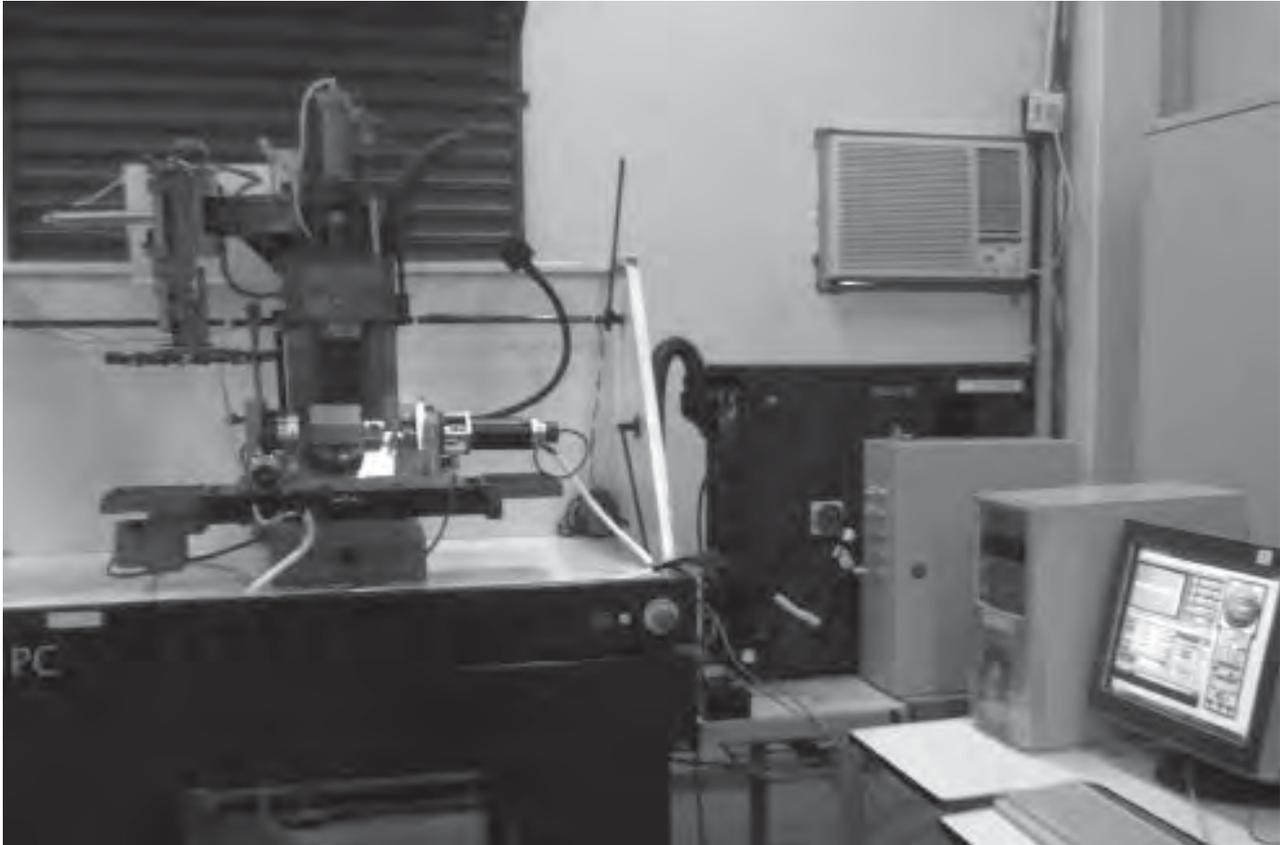


Figura 10 - Conjunto fresadora CNC 5-eixos

Um programa teste foi gerado, e com ele foi realizada uma “usinagem a vazio”, obtendo-se uma movimentação dos cinco eixos simultaneamente. Com isso foi possível observar e corrigir os erros, de configuração e sincronismo do sistema.

Após as devidas correções, foi realizada a usinagem de um corpo de prova com geometria complexa, com a finalidade de validar o sincronismo entre os equipamentos, corrigir possíveis erros de posicionamento, e/ou folgas mecânicas. O corpo de prova, Figura 11, foi projetado em ambiente CAD, e em seguida foi gerada a sua programação, código G, ou seja, passagem do desenho em ambiente CAD para o ambiente CAM, possibilitando assim a usinagem da peça na fresadora CNC de 5 eixos. Futuramente, pretende-se utilizar uma máquina de medição por coordenadas para medir a geometria da peça com o objetivo de comparar com a geometria CAD, com a finalidade de quantificar os erros da

fresadora CNC de 5-eixos.

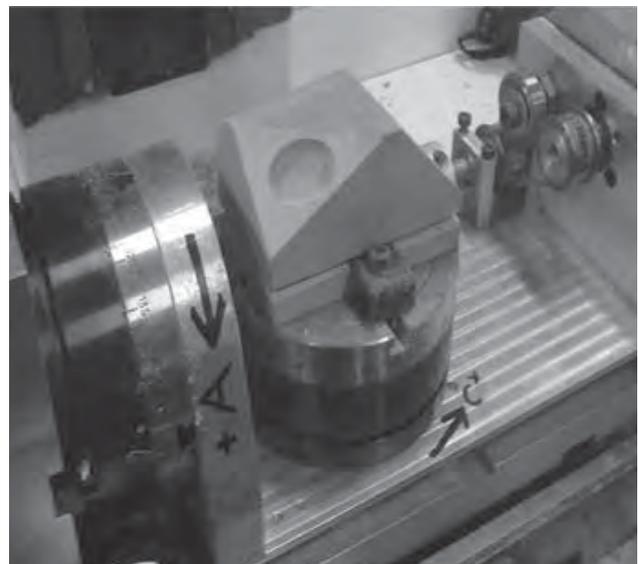




Figura 11 – Corpo de prova

4. Conclusão

Com a conclusão deste trabalho foi possível oferecer uma solução eficiente e de baixo custo para a área de modelagem de peças complexas, tanto interna do IF-SC quanto externa, representada pelas empresas do setor, utilizando-se um controlador CNC de baixo custo por meio do PC (Mach3). Quando operacional deseja-se proporcionar os seguintes resultados: redução do tempo de modelagem, melhoria do acabamento dos modelos, fabricação de modelos impossíveis para máquinas com somente três eixos.

Mesas birrotativas de porte industrial e sistemas CNC com recursos integrados para operação em cinco eixos têm elevado custo de aquisição, o que faz com que o investidor considere criteriosamente a sua aquisição. Com uma solução de baixo custo é possível atender um campo de aplicações ainda desassistidas por essa tecnologia, sendo o sistema desenvolvido, após a integração, uma excelente solução com potencialidade e baixo custo.

Este trabalho supre as necessidades da flexibilidade de adaptação em diferenciadas tarefas, nas empresas de fabricação estas tarefas podem reduzir os gastos com aquisições de novos sistemas e com treinamento de operadores. Permitindo assim a usinagem de peças complexas, com baixo valor agregado e/ou pequeno volume de produção, em um equipamento eficiente.

O foco deste projeto é a integração mecatrônica entre o software, os acionamentos e a lógica dos circuitos. Sendo possível afirmar a usinagem em 5 eixos utilizando o Mach3. A precisão final das peças usinadas dependem da mecânica destas, uma melhora nesta precisão esta sendo estudada pelo Professor Felício Gesser em sua tese de mestrado.

A usinagem produzida com 5 eixos simultâneos, apesar da folga existente nos eixos rotacionais da mesa, correspondem ao modelo CAD de referência. Com a usinagem do corpo de prova foi possível constatar que os movimentos realizados pela mesa birrotativa tiveram uma excelente resposta dinâmica, apesar da limitada dinâmica da fresadora de 3 eixos, em virtude da tecnologia de acionamento por motores de passo, esta tecnologia será substituída futuramente, para melhorar a resposta do sistema.

5. Agradecimentos

Ao IF-SC pelo apoio financeiro, através da bolsa de pesquisa, ao Departamento de Metal Mecânico pela infraestrutura cedida.

Aos professores orientadores e aos graduandos do módulo 6 de Mecatrônica Industrial, que participaram deste projeto, pela colaboração prestada e excelente execução.

6. Referências Bibliográficas

Chang, T.C., Wysk, R.A. and Wang, H.P., 2005, Computer Aided Manufacturing, 3rd Edition, Pearson Education, ISBN: 0131429191.

Chung, D.H., et al., 2008, Theory and Design of CNC Systems, Springer, ISBN: 978-1-84800-335-4.

Artsoft, 2008, Mach3 CNC Controller: Software Installation and Configuration, ArtSoft USA.

Rutex, 2008, Step by step setup/tuning procedure for R2000 drives: R2000 setup, Rutex USA.

Carvalho, R.S., 2009, Robô CNC para a Automação da Soldagem MIG/MAG em Posições e Situações de Extrema Dificuldade, Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, SC.

Responsabilidade de Autoria

As informações contidas neste artigo são de inteira responsabilidade de seus autores. As opiniões nele emitidas não representam, necessariamente, pontos de vista da Instituição e/ou do Conselho Editorial do IF-SC.