

# ADEQUAÇÃO TECNOLÓGICA DE UMA FRESADORA DIDÁTICA COM COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO

**Renon Steinbach Carvalho\***  
E-mail: renon@labsolda.ufsc.br

**Guilherme Campos Angeloni\***  
E-mail: angeloni@bol.com.br

**Alexandre Marcondes\***  
E-mail: marcondesfpolis@yahoo.com.br

**Hélio Mondardo Júnior\***  
E-mail: heliomj84@yahoo.com.br

**Bruno Felix Schmitt Montero\***  
E-mail: brunofsm@gmail.com

**Juliano dos Passos Bez\***  
E-mail: juliano.bez@hotmail.com

**Bruno Pereira Martendal\***  
E-mail: brunomartendal@pop.com.br

**Marcelo Justo Kieling\***  
E-mail: kieling99@hotmail.com

**Felício José Gesser\***  
E-mail: fgesser@cefetsc.edu.br

**Maycon Miranda\***  
E-mail: gancheiro@msn.com

**Felipe Castoldi\***  
E-mail: felipecastoldi@yahoo.com.br

**Nelso Gauze Bonacorso\***  
E-mail: nelso@cefetsc.edu.br

**George Martins da Cunha\***  
E-mail: george\_cunha@yahoo.com.br

\* Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Gerência de Metal-Mecânica, Av. Mauro Ramos, 950, Centro, 88.020-300, Florianópolis, SC, Brasil.

**Resumo.** Equipamentos CNC's apresentam uma manutenção e atualização de alto custo, visto que possuem componentes de tecnologia sofisticada. O presente projeto objetivou a atualização tecnológica da fresadora CNC didática produzida pela Denford. O retrofitting foi realizado em três fases. Na primeira fase realizou-se a troca do controlador CNC. O controlador antigo estava danificado e não realizava interpolações circulares. Foi utilizado aqui um controlador CNC de baixo custo baseado em PC. Também nessa fase foram desenvolvidos e instalados novos circuitos de intertravamento, isolamento e adequação de sinais para comunicação com os drivers. Na segunda fase substituiu-se o acionamento do eixo-árvore (spindle). Mudanças mecânicas, tais como troca de rolamentos, fabricação de um novo suporte e instalação de um motor de indução trifásico, no local de um motor de corrente contínua, foram realizadas. Com essas mudanças, fez-se necessário à instalação de um inversor de frequência, o qual tem como finalidade variar a velocidade do eixo-árvore. Na última fase foi instalado um controlador lógico programável (CLP) responsável pela lógica de troca automática de ferramentas. Desenvolveu-se um programa em linguagem Ladder para controle do magazine automático com capacidade de oito ferramentas. Implementou-se também a lógica de controle entre o controlador CNC e o CLP. Resultados práticos mostram que o sistema se comporta de forma confiável e melhor que o original. Tem-se agora o objetivo de adequar, através de softwares, a fresadora CNC para a fabricação de placas de circuito impresso (PCI's).

**Palavras-chave:** retrofitting, fresadora CNC, automação da manufatura.

## 1. INTRODUÇÃO

Equipamentos CNC's vêm sendo cada vez mais aplicados nas industriais, haja vista que geram maior produtividade com melhor repetitividade, sem contar o fato dos produtos terem uma diminuição da incerteza de suas medidas. Este projeto visa o *Retrofitting* da Fresadora CNC Didática produzida pela Denford, dado que tal equipamento apresentava os seguintes problemas que tornavam sua aplicação inviável: baixa rotação do eixo-árvore, problemas com o controlador antigo, implicando na não execução de curvas, impossibilidade de movimentação de dois eixos simultâneos e na troca de ferramenta.

A Fresadora CNC, Figura (1a), possuía originalmente um curso de 290 mm no eixo X, 170 mm em Y e 210 mm em Z, resolução de 0,01 mm, rotação máxima do eixo-árvore de 4000 rpm, velocidade de avanço máxima de 1500 mm/min e troca de ferramentas automática (TRIAC (1)).

Buscou-se reutilizar, ao máximo, sensores e componentes pré-existent no quadro elétrico e na máquina, logo se teve como resultado um único painel de comando, Figura (1b).

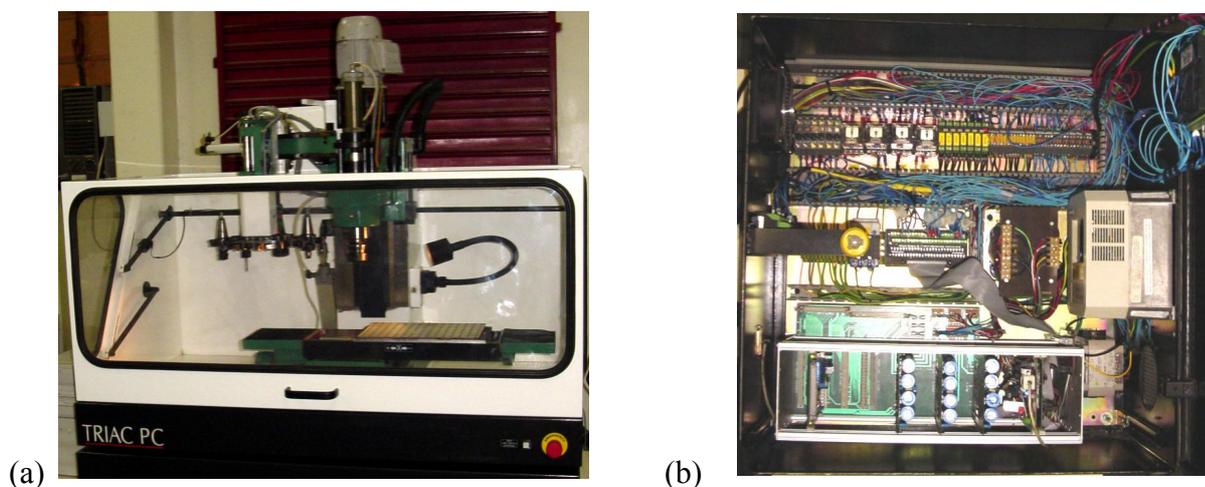


Figura 1. Em (a) Fresadora CNC didática Denford e em (b) painel de comando.

## 2. DESENVOLVIMENTO

A Fresadora CNC, Figura (2), é controlada através da porta serial RS232 de um computador pelo próprio programa do DeskCNC 2ª Geração (DeskCNC (2)), que se comunica com a sua placa. Por sua vez a placa DeskCNC, Figura (3a), se comunica com os *drivers* dos motores de passo, com o inversor do eixo-árvore, com o CLP para troca de ferramentas, com os interruptores *homes*, limites e parada de emergência.

### 2.1. Substituição do controlador

Optou-se por usar o controlador DeskCNC 2ª Geração, que vem com um *software* e uma placa de controle. Suas principais características são: saída PWM, comunicação RS232, 100 kHz de frequência de pulsos, quatro eixos de interpolação, entrada para *encoder*, alimentação 9V DC, possibilidade de programação de rampas de acelerações, saídas para acionamento do motor no sentido horário e anti-horário, +/- 2 bilhões de pulsos, cinco saídas digitais, baixo custo e compacto.

A linguagem de programação utilizada no controlador CNC é EIA RS274D, possui um programa funcional em Windows® XP, disponibilidade para trabalhar com *softwares* CAM, uma velocidade de processamento de 300 BPS, oito entradas e oito saídas de sinais, além de um *hardware* específico do CNC. Tal *hardware* envia sinais em *step* e *dir* para os *drivers* dos motores, que é conectado ao microcomputador através da porta serial RS 232.

A comunicação entre o DeskCNC e os *drivers* dos motores de passo (SD12 (3)) não é direta, pois o DeskCNC envia os sinais *step* e *dir* com duração de 5  $\mu$ s, enquanto que os *drivers* existentes

só reconhecem os comandos que possuem duração de 10  $\mu$ s, como mostra a Figura (3b). Além disso, os níveis de tensão também são diferenciados.

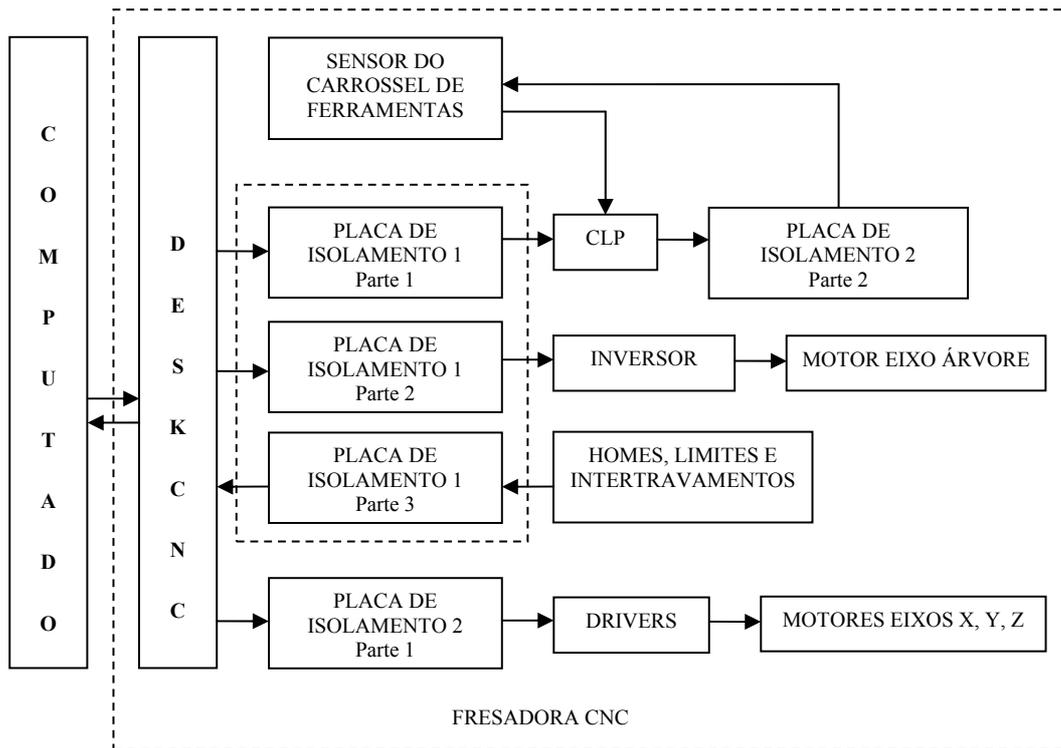


Figura 2. Diagrama de blocos do sistema de controle desenvolvido.

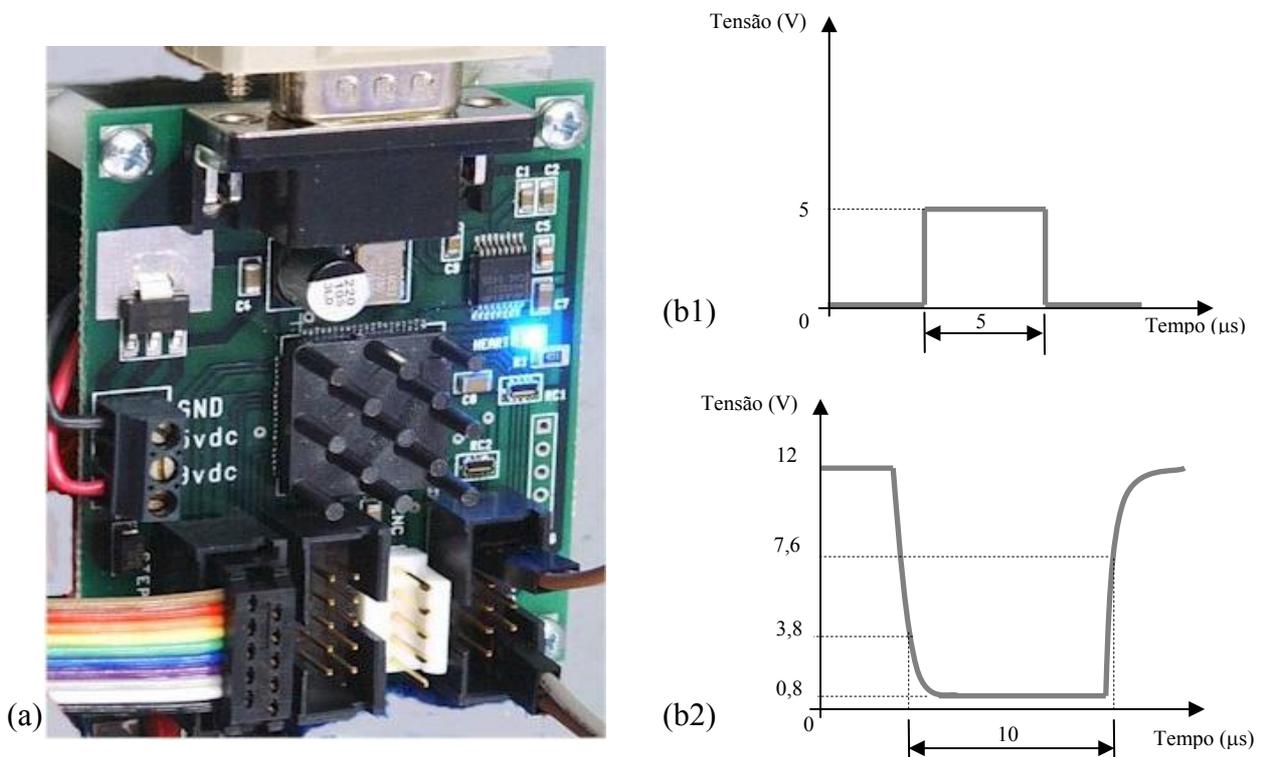


Figura 3. Em (a) DeskCNC 2ª geração, em (b1) característica do pulso elétrico de comando enviado pelo DeskCNC e em (b2) característica do pulso elétrico de comando recebido pelos *drivers*.

Com o intuito de solucionar a incompatibilidade dos sinais demonstrados na figura anterior, foi projetado, segundo (Malvino (4)), o circuito mostrado na Figura (4).

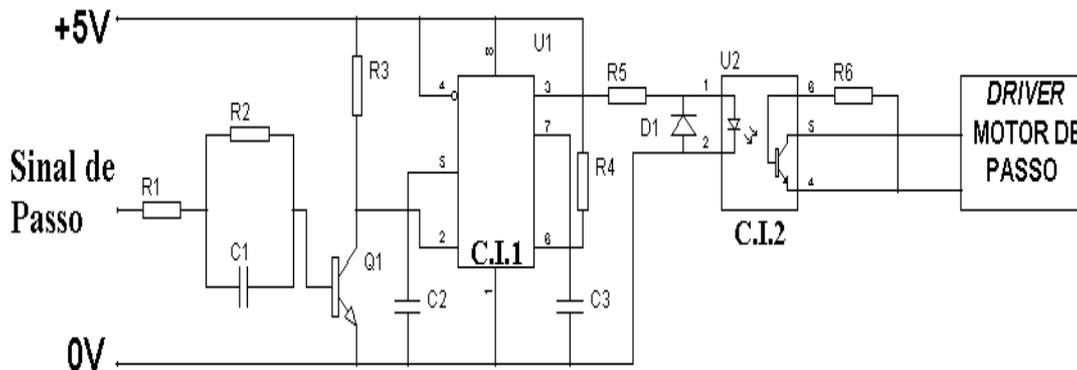


Figura 4. Circuito eletrônico para o interfaciamento entre o controlador DeskCNC e os *drivers* de acionamento dos motores de passo dos eixos X, Y e Z.

Além de adequar a comunicação, este circuito também isola eletricamente, através do circuito integrado opto-acoplador (C.I.2), os sinais entre a placa controladora e os *drivers* dos motores de passo.

Para proteção e alimentação do controlador e para facilitar a manutenção da fresadora, foram confeccionadas duas placas de isolamento, uma com sinais de limites, *homes*, parada de emergência, CLP e inversor, Figura (5), e outra com sinais para os *drivers* dos motores de passo, Figura (6). Juntamente nesta última há também um circuito retificador para a alimentação do DeskCNC (9V).

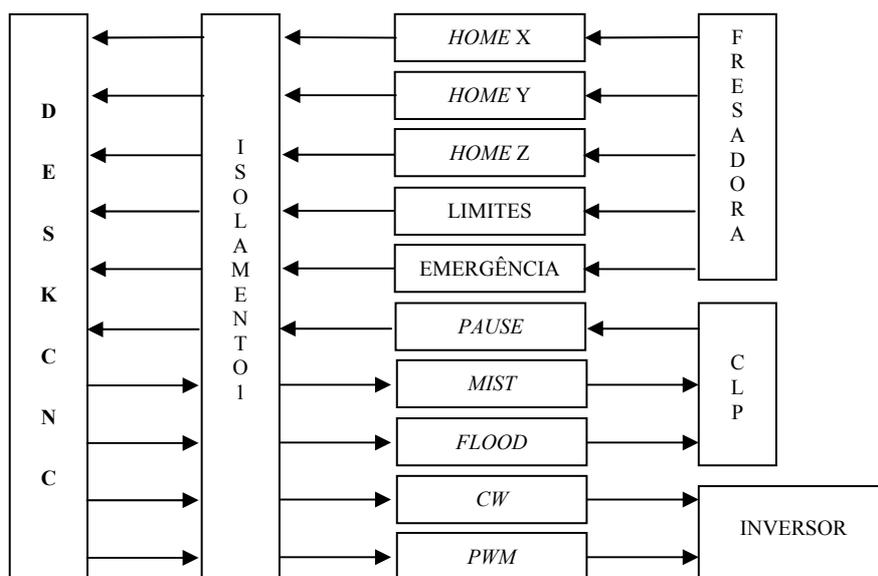


Figura 5. Placa de isolamentos dos limites, *homes*, parada de emergência, CLP e inversor.

A parada de emergência, Figura (5), é um circuito série com o pressostato e um botão cujo contato é normalmente fechado, sendo que é conectado a uma tensão de 24V DC e ao DeskCNC, passando pela placa de isolamento. Quando acionado, o sinal alto que está sendo enviado ao DeskCNC é alterado, se tornando baixo, e avisando ao *software* que a emergência foi acionada, parando todas as operações da máquina.

Os limites são seis sensores, Figura (5), dois por eixo, com os contatos normalmente fechados ligados em série, conectados uma extremidade em 24V DC e a outra no DeskCNC, passando pela placa de isolamento. Quando um é acionado, o sinal alto que está sendo enviado ao DeskCNC se altera, se tornando baixo, e avisando ao *software* que um limite de curso foi atingido, parando o movimento da máquina.

Os *homes*, Figura (5), são sensores eletromagnéticos alimentados em 12V DC, que possuem os contatos normalmente fechados. Há um sensor pra cada eixo – X, Y e Z. Quando acionados, enviam um sinal ao DeskCNC, avisando que o *home* desejado foi atingido, dando continuidade ao programa. Tal procedimento se faz necessário para o referenciamento da fresadora.

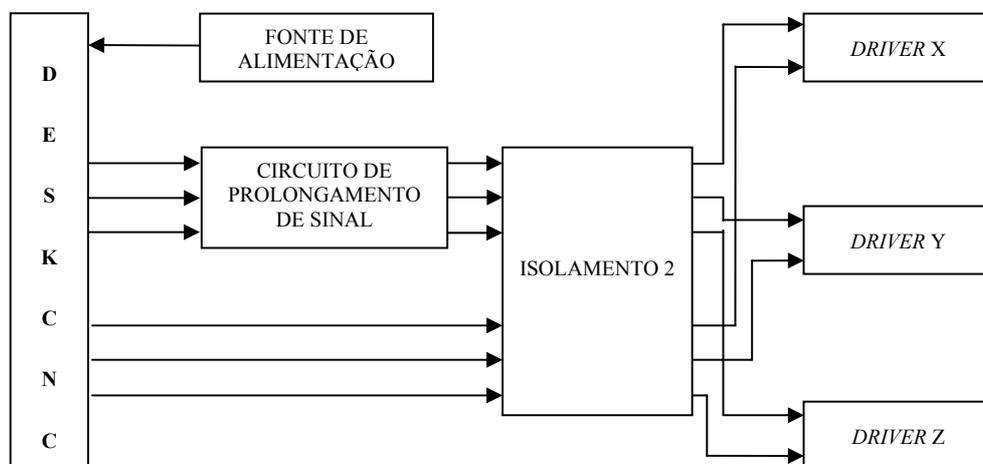


Figura 6. Placa de isolamentos dos *drivers* dos motores de passo e da fonte de 9V DC.

## 2.2. Substituição do motor do eixo-árvore

O eixo-árvore é responsável pela rotação de trabalho da ferramenta. Anteriormente esse eixo era acionado através de um motor DC que possuía baixa rotação, com máxima rotação de 4000 rpm, não proporcionando a velocidade ideal para aplicações utilizando ferramentas de pequeno diâmetro.

Este motor DC foi substituído por um motor de indução trifásico, Figura (7a), que possibilita rotações mais elevadas, com o intuito de alcançar 9000 rpm.

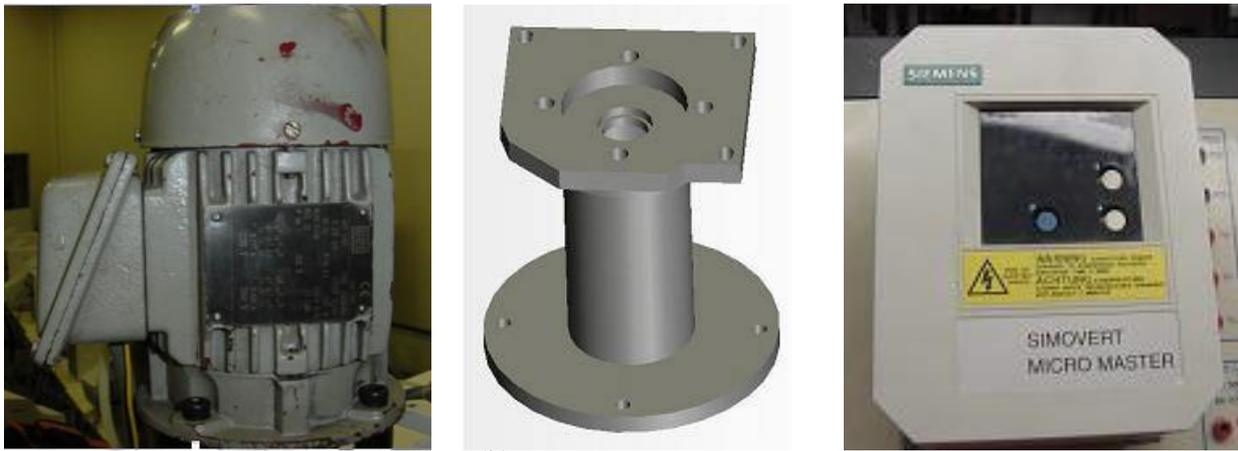
Devido as diferentes dimensões, dos motores, foram necessárias algumas adaptações para a perfeita acomodação do novo motor, além da troca de rolamentos e a instalação de novo *driver* (Micro (5)).

Como o novo motor possui dimensões diferentes do motor DC antes utilizado, era impossível assim a simples substituição do motor, devido ao seu maior diâmetro o que provocaria colisões com a estrutura da máquina, várias adaptações mecânicas foram implementadas, Figura (7b).

Com a utilização deste suporte fez-se necessária a usinagem de um eixo para ligar o motor à polia, que transfere o movimento ao eixo-árvore propriamente dito. Foi necessário também substituir os rolamentos originais de tal eixo, por rolamentos que suportam a nova rotação do motor. Além da troca de rolamentos houve a colocação de um graxeiro para manter a lubrificação dos rolamentos, feita por uma graxa especial, assim aumentando a vida útil dos mesmos e proporcionando que tais componentes suportassem esta maior rotação.

O ajuste dos parâmetros de funcionamento do motor, tais como, faixa de frequência, tensão, corrente nominal, proteção, tempos de aceleração e desaceleração foram realizados através da IHM, interface homem-máquina, do próprio *driver*, Figura (7c).

Foi confeccionado um filtro eletrônico com o objetivo de adequar o sinal PWM de referência de velocidade da placa DeskCNC com o sinal de entrada analógico do *driver* do eixo-árvore.



(a) (b) (c)  
 Figura 7. Em (a) motor atual do eixo-árvore, em (b) peça confeccionada para a adaptação do motor e em (c) *driver* do eixo-árvore.

### 2.3 Trocador automático de ferramentas (TAF)

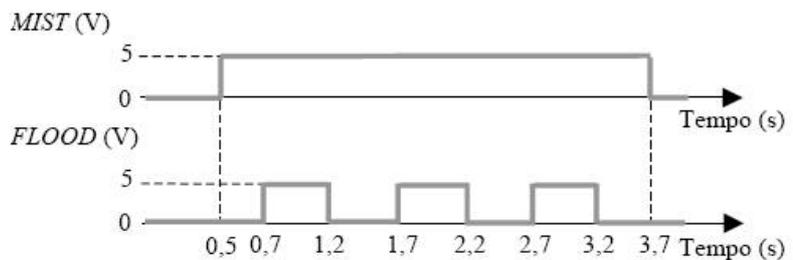
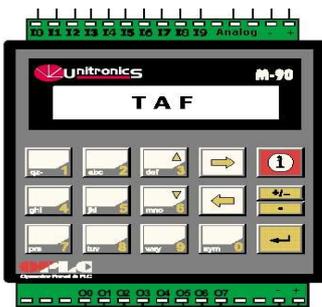
O TAF deixou de ser comandado pelo CNC e passou a ter um Controlador Lógico Programável (CLP) dedicado com alteração significativa do cabeamento.

Depois de mapear todas as chaves (*switches*) e entender a seqüência de intertravamento, montou-se um plano a ser seguido e se implementou o programa *Ladder* (*Ladder* (6)). Em seguida, fez-se simulações com um console que enquadrava as chaves e a comunicação com o DeskCNC, enquanto que as saídas do motor e dos atuadores pneumáticos eram simuladas por *leds* em uma placa. Dessa forma pode-se observar a seqüência de funcionamento e corrigir erros sem expor o maquinário. O passo seguinte foi isolar o circuito referente ao TAF dentro do painel de controle, e agrupá-lo com o CLP (Manual(7)), Figura (8a), para realizar os testes com os sensores verdadeiros e setar corretamente os tempos e variáveis.

Nesse ponto o CLP já lia todas as chaves e comandava o motor do TAF assim como os atuadores pneumáticos que o posicionam. Ocupava-se todas as suas 10 entradas digitais e 5 de suas saídas digitais. Entretanto, a comunicação com o DeskCNC era ainda simulada por chaves. Posteriormente, ainda se incluí a leitura do sensor de nível de óleo em uma porta analógica para garantir a lubrificação da máquina. Com isso pronto, agora a meta dependia apenas da comunicação com o DeskCNC de verdade.

Em um arquivo com as rotinas de troca de ferramenta (TOOLCHANGE.CFG), foram descritos os comandos em forma de pulsos que fazem a comunicação entre o CLP e o DeskCNC, que antes fora simulado à mão.

Dá-se início à comunicação ligando a porta de saída *MIST* do DeskCNC, que o CLP interpreta isso como a habilitação para receber um pedido de troca. Agora, com pulsos na porta *FLOOD*, o CLP conta de 1 a 8 e escolhe a ferramenta e quando o *MIST* vai para o nível baixo efetua a troca, conforme o exemplo a seguir, Figura (8b), onde pede-se a ferramenta 3.



(a) (b)  
 Figura 8. Em (a) CLP M-90 TA2/CAN e em (b) pulsos de troca.

Antes de efetuar a troca, o CLP procura saber se a ferramenta já não está em uso. Caso contrário, posiciona a mesa e o eixo-árvore em locais seguros, retira a última ferramenta usada e conclui a troca. Mas enquanto o CLP comanda o motor do TAF, manda um sinal de PAUSA para o DeskCNC não iniciar um fresamento ao mesmo tempo.

O CLP executa de forma seqüencial as seguintes tarefas: leitura dos sinais de entrada e armazenamento dos mesmos num local separado na memória, execução das instruções programadas, interrogando também os sinais de entrada que foram guardados na memória, atualização das saídas de acordo com as instruções que foram executadas.

O programa desenvolvido para o CLP pode ser melhor compreendido através do fluxograma, Figura (9), que segue.

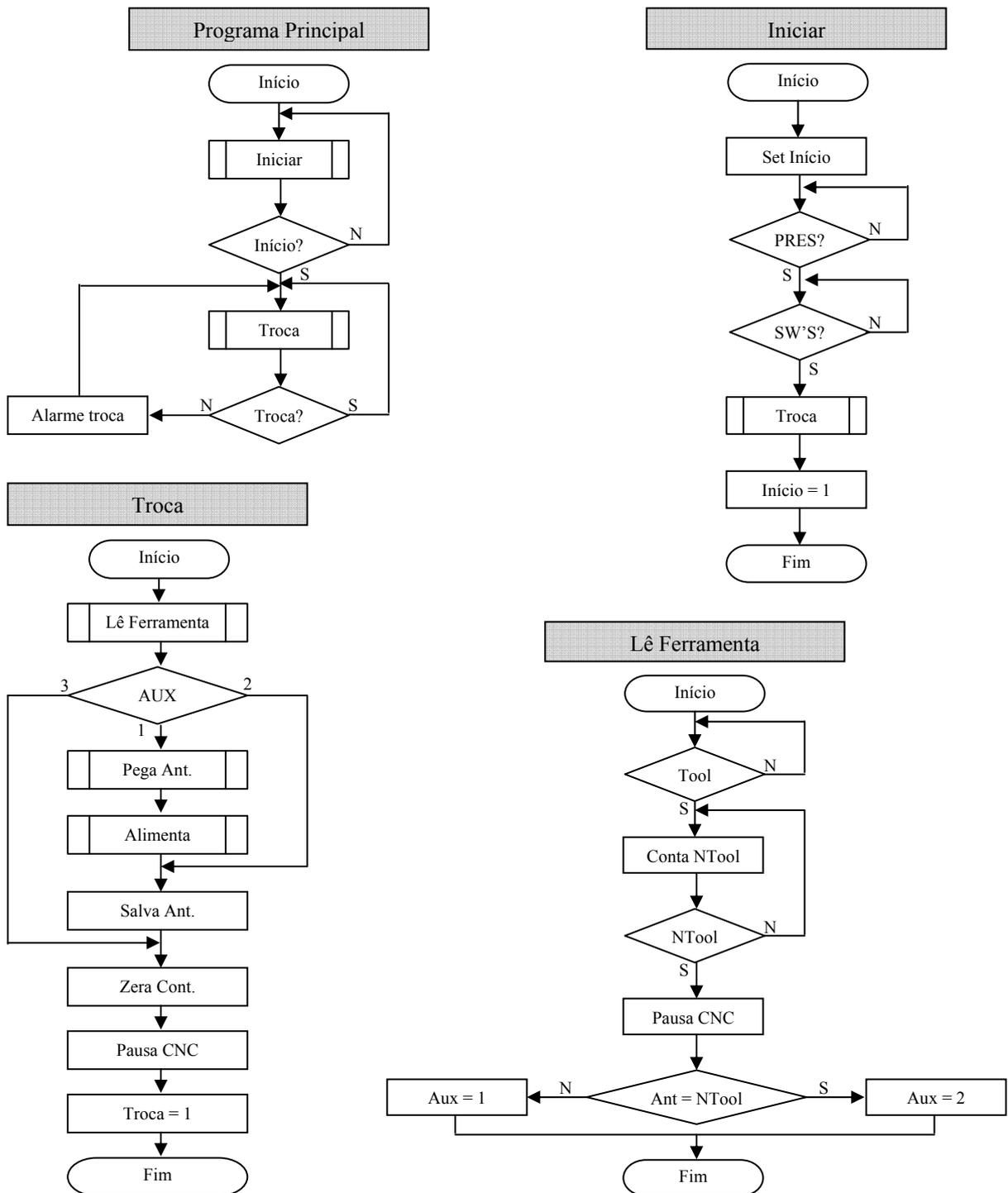


Figura 9. Fluxograma do CLP.

Na hora de pedir uma ferramenta, o CNC lê a rotina de troca e executa a sua respectiva seqüência. Na outra extremidade o CLP lê e interpreta essa rotina de pulsos para então posicionar o magazine de ferramentas e efetuar a troca.

Durante a pausa (pela porta de saída PausaCNC) ele executará todas as lógicas de acionamento, liberadas blocos a blocos via variáveis auxiliares (*Memory Bit* e *Memory Integer*) localizadas no início de cada bloco, tipo (e.g.: Início, AuxLeFer2) de fácil compreensão ao se visualizar o programa *Ladder*. Executa-se um forçamento (*PowerUP*) em algumas variáveis que precisam ser setadas no reiniciar da máquina, para que a mesma não tenha referências erradas em caso de perda de energia ou parada de emergência.

Também foram utilizados *timers* para equalizar os tempos elétricos (rápidos) e pneumáticos (lentos), evitando-se disparos antecipados dos atuadores.

Para o TAF não fazer a rotina de zeramento juntamente com o CNC, ele espera um comando de habilitação. Usando a mesma lógica e o mesmo canal de comunicação com o DeskCNC, faz-se o pedido da ferramenta inexistente T09 para dar essa habilitação ao CLP. Depois de concluída, o carrossel do trocador apronta a T01.

### 3. RESULTADOS

Com o objetivo de validar a metodologia aplicada, confeccionou-se uma peça de geometria livre em um programa de CAD, Figura (10a). Tal peça deu origem a um Código G, o qual foi utilizado para gerar as trajetórias da ferramenta no *software* do DeskCNC. Analisando a geometria final do corpo-de-prova usinado em bloco de resina, Figura (10b), observamos que o mesmo apresentou medidas equivalentes às dimensionadas no CAD.

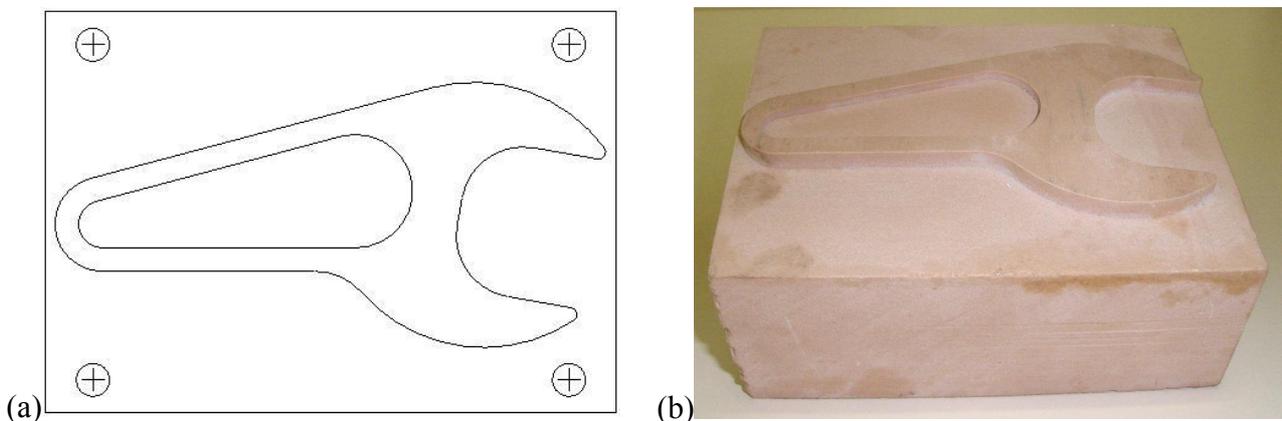


Figura 10. Em (a) desenho em *software* CAD e em (b) peça usinada.

### 4. CONCLUSÕES

O *retrofitting* se mostrou uma boa solução para adequação de máquinas ultrapassadas tecnologicamente ou necessitando de manutenção. Visto que a fresadora voltou a realizar interpolações circulares e mesmo em movimentos retilíneos obteve-se maior desempenho, pois as curvas de acelerações dos motores puderam ser aumentadas.

O eixo-árvore também se mostrou um sistema robusto, uma vez que os 9000 rpm desejados foram alcançados. Entretanto o inversor de freqüência, o qual estava disponível na instituição, está trabalhando em seu limite de corrente.

No processo de troca de ferramentas, tivemos um problema. Por uma limitação no número de linhas de comando no *software* do DeskCNC, só é possível realizar a troca das cinco primeiras ferramentas.

Sendo assim, além do objetivo almejado inicialmente, que era recolocar a fresadora em funcionamento, alcançou-se um patamar onde o equipamento se mostrou mais confiável e eficaz.

Além disso, o fato de ser tratar de um projeto de baixo custo torna a opção pelo *retrofitting* ainda mais atrativa para centros de ensino e empresas que possuam máquinas obsoletas. Em suma, tal adequação tornará mais rápida e eficaz o andamento de futuros projetos dentro da instituição de ensino.

## 5. REFERÊNCIAS

1. **TRIAC P.C & ATC Installation, Operation And Maintenance Manual, Fanuc Version 2.93 – 2.96, Heidenhain Version 2.108 – 2.95.** Denford Machine Tools.
2. **DeskCNC Setup & Operating Manual.** Disponível em:  
<<http://www.deskcnc.com/DeskCNCManual.pdf>>. Acesso em: 15 junho 2005.
3. **SD12, SD13 & SD15 Stepper Drivers User Guide.** Parker Motion & Control, 1995.
4. MALVINO, A. P., **Eletrônica Volume 2.** McGRAW-HILL, 1987.
5. **MICRO MASTER, Instrucciones de servicio.** SIEMENS.
6. **Ladder Software Manual version 3.50.** UNITRONICS. Disponível em  
<<http://www.unitronics.com/pdf/help/u90-software.pdf>>. Acesso em: 19 julho 2005.
7. **Manual de Instalação e Programação do Controlador Lógico Programável TP02.** WEG.

### TECHNOLOGICAL ADAPTATION OF A DIDACTIC MILL WITH COMPUTERIZED NUMERIC COMMAND

**Renon Steinbach Carvalho\***  
E-mail: [renon@labsolda.ufsc.br](mailto:renon@labsolda.ufsc.br)

**Guilherme Campos Angeloni\***  
E-mail: [angeloni@bol.com.br](mailto:angeloni@bol.com.br)

**Alexandre Marcondes\***  
E-mail: [marcondesfpolis@yahoo.com.br](mailto:marcondesfpolis@yahoo.com.br)

**Hélio Mondardo Júnior\***  
E-mail: [heliomj84@yahoo.com.br](mailto:heliomj84@yahoo.com.br)

**Bruno Felix Schmitt Montero\***  
E-mail: [brunofsm@gmail.com](mailto:brunofsm@gmail.com)

**Juliano dos Passos Bez\***  
E-mail: [juliano.bez@hotmail.com](mailto:juliano.bez@hotmail.com)

**Bruno Pereira Martendal\***  
E-mail: [brunomartendal@pop.com.br](mailto:brunomartendal@pop.com.br)

**Marcelo Justo Kieling\***  
E-mail: [kieling99@hotmail.com](mailto:kieling99@hotmail.com)

**Felício José Gesser\***  
E-mail: [fgesser@cefetsc.edu.br](mailto:fgesser@cefetsc.edu.br)

**Maycon Miranda\***  
E-mail: [gancheiro@msn.com](mailto:gancheiro@msn.com)

**Felipe Castoldi\***  
E-mail: [felipecastoldi@yahoo.com.br](mailto:felipecastoldi@yahoo.com.br)

**Nelso Gauze Bonacorso\***  
E-mail: [nelso@cefetsc.edu.br](mailto:nelso@cefetsc.edu.br)

**George Martins da Cunha\***  
E-mail: [George\\_cunha@yahoo.com.br](mailto:George_cunha@yahoo.com.br)

\* Federal Center of Technological Education of Santa Catarina, Management of Metal-mechanics, Av.Mauro Ramos 950, Centro, 88.020-300, Florianópolis, SC, Brazil.

***Abstract.** CNC's equipments have high cost of maintenance and update because of their components of sophisticated technology. The present project aimed the technological updating of the didactics CNC mill produced by Denford. The retrofitting was accomplished in three phases. In the first phase it took place the CNC controller change since the old one was damaged and it didn't accomplish circular interpolations. It was used a low cost CNC controller based on PC. Also in this*

*phase, it was developed and installed a new interlocking circuits, beside isolation and adaptation of signs for communication with the drivers. In the second phase, the driver of the spindle was substituted. Mechanical changes, such as bearings change, production of a new support and installation of as induction three-phase motor, in the place of a continuous current motor, took place. With those changes, it was necessary install a frequency inverter in order to allow the speed variation of the spindle. In the last phase, a programmable logical controller (PLC) was installed in order to control the automatic tool change system. A dedicated program in Ladder language was created to control of the automatic magazine with capacity to eight tools. It was also implemented the logic control between controller CNC and PLC. Practical results show that the system behaves reliable and better than the original. For the future, through softwares, the CNC mill will be used for the production of peripheral component interconnect (PCI's).*

**Keywords.** *retrofitting CNC mill, automation of the manufacture.*