



READEQUAÇÃO TECNOLÓGICA DE BAIXO CUSTO DE ROBÔS CARTESIANOS - *RETROFITTING* ROBÔ SANKYO

Thiago Antonio Pereira¹, Anderson Arans Roesner², Fernando Eduardo S. São Thiago³, Ivan Cristofolini⁴, Guilherme Santana Weizenmann⁵, Nelso Gauze Bonacorso⁶

Resumo: Robôs cartesianos destinados a tarefas de montagem possuem custo elevado e, muitas vezes, se torna inviável sua aquisição pelo pequeno empresário. A readequação tecnológica de máquinas desatualizadas apoiadas no trinômio qualidade do serviço, curto prazo de entrega e baixo custo de realização é atualmente a mais solução buscada pelas empresas. Esse projeto de pesquisa trata da readequação tecnológica do robô cartesiano de quatro graus de liberdade produzido pela empresa *Sankyo Robotics* do Japão e adquirido em leilão. Apesar de ser um robô com muitas horas de uso, a sua mecânica está em excelente estado. Para seu sistema eletroeletrônico, além de ser proprietário, antigo e desatualizado o fabricante não fornece mais peças de reposição. A aquisição do robô sem a interface de programação, *teach pendant*, é outro problema que impede sua operação além dos empecilhos de natureza eletroeletrônica. Portanto, o objetivo inicial do projeto é fazer, juntamente com o Instituto Federal de Santa Catarina, a viabilização da readequação tecnológica do robô cartesiano. Visto que se trata de um projeto de pesquisa com seus riscos naturais de sucesso. Posteriormente buscar as melhores alternativas tecnológicas, visando unir o baixo custo com a qualidade.

Palavras-chave: robô cartesiano, *retrofitting* e baixo custo.

Abstract: Cartesian robots for the assembly tasks are expensive and often become unworkable its acquisition by the small entrepreneur. And the technological retrofitting of outdated machines supported on the tripod (service quality, short delivery and low cost of implementation) is currently the most sought solution for businesses. This research project deals with the readjustment of the Cartesian robot technology of four degrees of freedom produced by Sankyo Robotics in Japan and purchased at auction. Despite being a robot with many hours of use, its mechanics are in excellent condition. Your system electronics in addition to being owner, old and outdated the manufacturer no longer provides spare parts. The acquisition of the robot without the programming interface, *teach pendant*, is another problem that prevents its operation beyond the obstacles of nature electronics. Therefore, the initial goal of the project is done, together with the Instituto Federal de Santa Catarina, the technological feasibility of retrofitting the Cartesian robot. Since this is a research project with its natural hazards of success. Subsequent search for the best technological alternatives in order to join the low cost with quality.

Keywords: Cartesian robot, *retrofitting* and low cost.

¹ Graduando CST Mecatrônica Industrial do IFSC <senspereira@hotmail.com>.

² Graduando CST Mecatrônica Industrial do IFSC <andersonroesner_555@hotmail.com>.

³ Graduando CST Mecatrônica Industrial do IFSC <fernandinho_sch@hotmail.com>.

⁴ Graduando CST Mecatrônica Industrial do IFSC <santanaweizenmann@hotmail.com>.

⁵ Graduando CST Mecatrônica Industrial do IFSC <ivancuco@hotmail.com>.

⁶ Professor do DAMM do IFSC, Dr. Eng. <nelso@ifsc.edu.br>.

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia e a necessidade de melhorar a produção e a qualidade e de reduzir custos, os mecanismos inteligentes, como os de

CNC (comandos numéricos computadorizados), estão cada vez mais presentes, principalmente no setor industrial. Porém, devido ao alto investimento necessário para obtenção de máquinas novas, tornou-se comum o ato do *retrofitting*, ou

readequação tecnológica, de máquinas desatualizadas. O preço final do *retrofitting* busca sempre ser inferior ao de uma máquina, equipamento ou sistema novo.

Basicamente, no *retrofitting*, há a troca dos comandos eletrônicos por outros de última geração e também de componentes e acionamentos antigos por modernos e mais confiáveis. Segundo Pansiera (2002), a readequação tecnológica de máquinas desatualizadas apoiadas no trinômio qualidade, prazo e custo, é atualmente a solução mais buscada pelas empresas.

Entre as vantagens do *retrofitting* temos:

- aumento da produtividade;
- redução dos períodos de inatividade;
- redução de riscos;
- recursos de programação mais simples;
- garantia de eventuais peças de reposição por um longo período;
- alternativa para novos investimentos;
- maior retorno.

Com esse propósito, foi proposta a readequação tecnológica de um robô cartesiano de três eixos da marca Sankyo, que não oferece mais serviços de assistência técnica ou reposição de peças.

O robô encontra-se em perfeito estado mecânico, porém, a parte de acionamento e comando não funciona, não possui mais a plataforma “Pendant”, está desatualizada e todos os componentes são OEM (*Original Equipment Manufacturer*, fabricante original do equipamento), o que dificulta a manutenção e reposição de peças, já que a marca não presta mais esses serviços.

Segundo os manuais do robô, ele possui resolução de 0,001 polegadas, ou 0,0025 mm, e atinja velocidade acima de 80 m/min. por eixo.

O *retrofitting* do robô cartesiano da marca Sankyo é totalmente viável, visto que o custo para compra de um robô novo do tipo cartesiano, como o citado, é muito mais alto. A estrutura mecânica e o painel eletrônico antes do *retrofitting* estão presentes na Figura 1.



(a) (b)
FIGURA 1 – Robô Cartesiano Sankyo antes do retrofitting. (a) Estrutura Mecânica e (b) Painel Eletroeletrônico.

Os robôs do tipo cartesiano realizam movimentos lineares, trabalhando nos eixos x, y e z, como em uma superfície plana. Caracterizam-se

pela pequena área de trabalho, mas com um elevado grau de rigidez mecânica, e são capazes de grande exatidão na localização do atuador. Seu controle é simples devido ao movimento linear dos vínculos e devido ao momento de inércia da carga ser fixo por toda a área de atuação.

2. METODOLOGIA UTILIZADA

Para realização completa do *retrofitting* do robô Sankyo, foi empregada uma metodologia lógica de desenvolvimento dividida em quatro fases: projeto, fabricação, montagem e análise dos resultados.

Na fase de projeto, buscaram-se informações, partindo do próprio manual do equipamento, Sankyo Robotics (2001), para a solução mais adequada para a realização do *retrofitting*. Foram determinados os objetivos principais, as soluções viáveis, definições relacionadas com operação, segurança, ergonomia, manutenção, confiabilidade, qualidade, custo, desempenho e funcionamento do robô.

O projeto foi dividido, segundo o modelo de Back (2008), em três etapas: projeto informacional, projeto conceitual e preliminar. O projeto informacional foi a etapa na qual foi analisado o problema. A tarefa consistiu na análise detalhada do problema de projeto, buscando-se todas as informações necessárias ao pleno entendimento do problema. Ao final dessa etapa foram obtidas as especificações do projeto e a conclusão de que realizar o *retrofitting* é totalmente viável.

As especificações foram:

- a) os componentes de reposição devem ser baratos, padronizados e reduzidos;
- b) exatidão de posicionamento linear $0,03 + (\text{massa} \cdot 0,001) \text{ mm}$;
- c) precisão de posicionamento volumétrico de $\pm 0,04 + (\text{massa} \cdot 0,001) \text{ mm}$;
- d) capacidade de deslocar massas de 2 - 20 kg.

Na fase do projeto conceitual, foram definidas as funções do produto e suas possíveis soluções. As principais funções e as soluções escolhidas foram:

- a) comandar: o software CNC *Mach3* se encaixa melhor nas exigências iniciais, devido ao conhecimento deste por parte da empresa;
- b) intertravar: o intertravamento será um circuito composto de relés e contador, devido à necessidade de segurança quanto ao bom funcionamento de todo o sistema e ser mais barato que um CLP (controlador lógico programável);

- c) transmitir: a escolha da transmissão ficou restrita a polias e correias, para que pudessem ser reaproveitadas as pré-existentes;
- d) referenciar (*home*): por o ambiente de trabalho do robô não possuir excesso de poeira no ar, Fotodiodo e Foto-transistor garantem boa precisão e baixa histerese;
- e) comunicar: a porta paralela é a interface padrão do controlador CNC *Mach3*;
- f) acionar: o acionamento é feito por motores de passo, devido ao seu baixo custo.

No projeto preliminar iniciaram-se as confecções dos diagramas de funcionamento, elétricos e de sinais. A equipe dedicou-se a avaliar as soluções desenvolvidas para dimensionar os componentes selecionados na fase anterior.

Na etapa de fabricação, foram feitos os flanges de adaptação dos motores e os circuitos de *home*, visto que todos os outros dispositivos do robô estavam em perfeito estado de funcionamento, e outros que foram necessários adquiriram-se através de recursos financeiros fornecidos pelo Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC).

3. CONCEPÇÃO DO ROBÔ

O robô foi dividido em três módulos: sistema eletroeletrônico, sistema mecânico e sistema de integração da parte mecânica com o eletroeletrônico que é feito com o software *CNC Mach3*.

3.1. Concepção sistema eletroeletrônico

O sistema eletroeletrônico foi todo substituído, deixando de usar os componentes da marca *Sankyo* para utilizar componentes comerciais e padronizados.

O sistema é composto por um computador portando o software *Mach3*; três drives de corrente para controle dos motores de passo; uma placa de condicionamento de sinais da porta paralela; três placas de circuito impresso para o *home* (uma para cada eixo); um circuito de intertravamento; e uma fonte de 24 volts. De acordo com a Figura 2, observa-se o painel de controle do robô.

Para o melhor entendimento, o funcionamento do robô foi representado no diagrama funcional (Figura 3), onde foram colocadas todas as entradas e saídas, de sinal e potência.

Para a fabricação das placas de circuitos impressos (PCI), optou-se pelo uso do software *Proteus PCB Design Software* da *Labcenter Electronics*. O *Proteus* é um pacote com dois softwares, o *ISIS* e o *ARES*. O *ISIS* é o software utilizado para projeto do circuito elétrico, os *ARES*

têm como função, a partir de um projeto de circuito elétrico do *ISIS*, elaborar o *layout* da PCI.

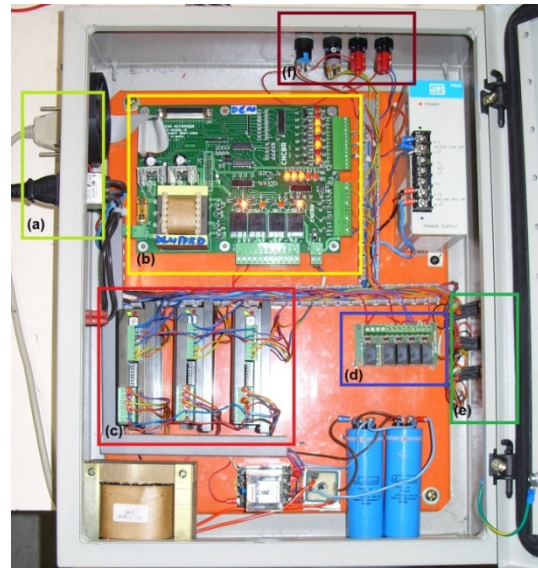


FIGURA 2 – Painel de controle destacando (a) entradas de sinais, (b) placa de interface, (c) drivers de controle, (d) intertravamento, (e) saída para motores e (f) botoeiras.

3.1.1. Circuito Lógico de Intertravamento

Um circuito elétrico lógico de intertravamento foi desenvolvido com a função de verificar o bom funcionamento do robô. Caso os drives de corrente falhem (sobrecarga, sobretensão, aquecimento excessivo), falte alimentação de ar comprimido para a ferramenta (pressostato), falte o sinal presença do controlador (*Mach3*), ou pressionem o botão de parada de emergência, este circuito inibe o programa CNC e desliga a alimentação dos *drivers* dos eixos, evitando que ocorram danos ao equipamento.

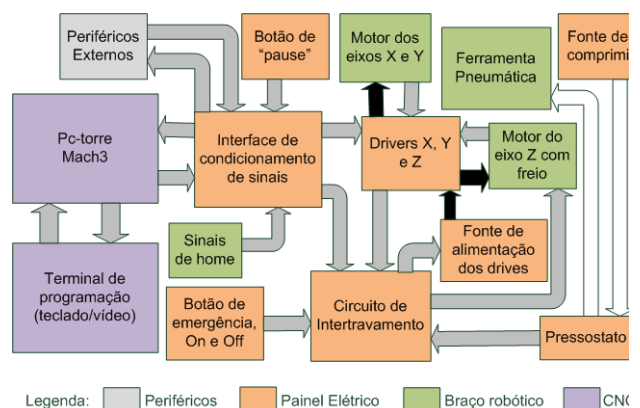


FIGURA 3 – Diagrama Funcional do robô cartesiano desenvolvido.

O intertravamento é um circuito composto por uma contactora ("K") e por diversos relés, que são ligados em série e acionados quando os componentes essenciais para o funcionamento do robô estão em perfeito funcionamento.

Quando todas as chaves dos relés estiverem fechadas e for pressionado botão de ligar (“ON”), o circuito entra em autorretenção, liberando a potência para o resto do sistema. Quando o botão de desligar (OFF) é pressionado, o sistema abre novamente. O botão de parada de emergência (PE) cortará a alimentação de todo sistema. A Figura 4 aparece o circuito de intertravamento do robô.

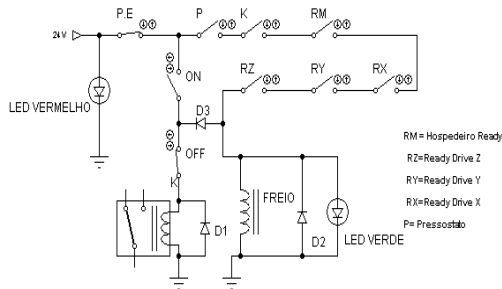


FIGURA 4 – Circuito de intertravamento.

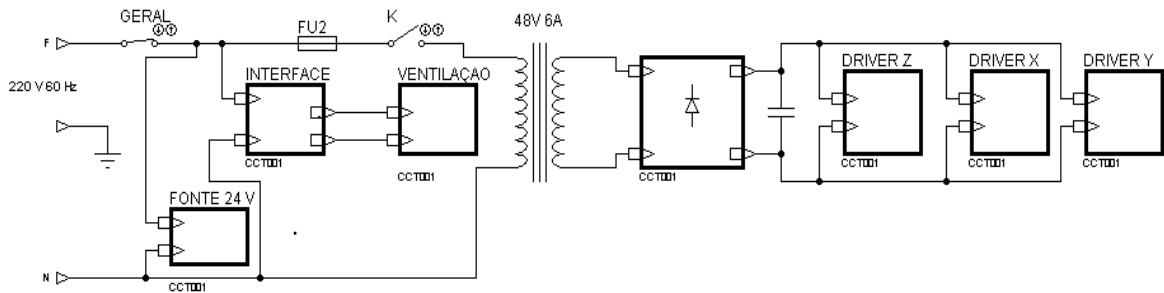


FIGURA 5 – Circuito de potência.

O circuito de *home* (Figura 6) é constituído por uma chave optoeletrônica conectada diretamente à placa de interface que estará lendo a presença do eixo na posição zero. A chave é ativada por uma pequena chapa, presa na parte móvel de cada eixo, que interrompe o feixe de luz.

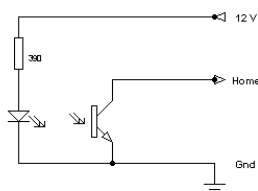


FIGURA 6 – Circuito de *home*.

3.1.4. Placa de condicionamento de sinais

Foi utilizada do fabricante CncBr (2009) a placa de condicionamento de sinais (Figura 7). Essa interface isola e amplifica os sinais vindos da porta paralela do computador, reconhece o sinal de presença do hospedeiro (software CNC) através de uma saída a relé que vai para o circuito lógico de intertravamento. Além disso, conta com saídas de 12 V para alimentar os sensores e a ventilação.

3.1.2. Circuito elétrico de potência

O circuito elétrico de potência faz o acionamento do equipamento. A Figura 5 mostra o circuito de potência desenvolvido para acionamento por motores de passo. A interface e a fonte de 24 V, que alimenta o circuito lógico, são ligadas diretamente na rede (220 V). Os *drivers* são alimentados por uma fonte auxiliar de 67 VCC/ 6 A, composta por um transformador abaixador para 48 V, uma ponte retificadora e um capacitor eletrolítico para filtragem.

3.1.3. Circuito de Referenciamento

Os circuitos de referenciamento estão presentes nos três eixos, ligados à placa de condicionamento de sinais. Este circuito serve para referenciar o robô no início de cada ciclo, conhecido como circuito de “*home*”.

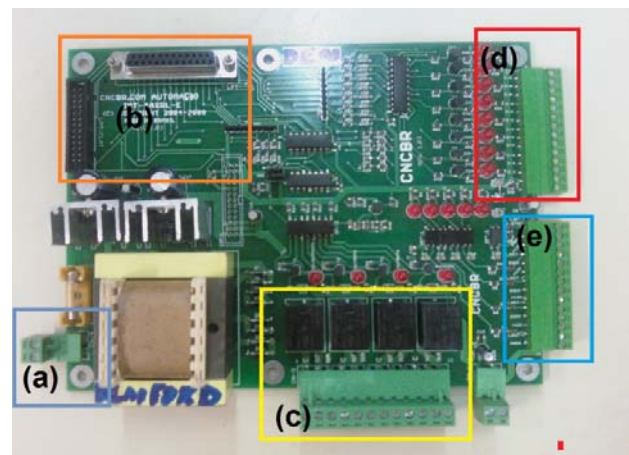


FIGURA 7 – Placa de condicionamento de sinais 4AXRL, destacando (a) alimentação da rede, (b) comunicação com o PC, (c) saídas a relé, (d) saídas a comando e (e) entradas de sinais.

3.1.5. Drivers de acionamento de motores de passo

Foram utilizados do fabricante Applied Motion Products (2010) os *drives* de corrente bipolares (Figura 8). Esse modelo selecionado é otimizado

para o uso em conjunto com os motores de passo modelo nema 23 KLM-401, utilizados nos eixos do robô, além de possuir um sistema de suavização de passos (*smooth step*).



FIGURA 8 – Driver de corrente bipolar comercial.

4. CONCEPÇÃO MECÂNICA

A estrutura mecânica da máquina estava em perfeito estado, necessitando apenas de limpeza e lubrificação dos fusos de esferas, substituição de alguns parafusos com oxidação e nova pintura.

Os eixos são do tipo monobloco, ou seja, uma estrutura única que guia e transmite o movimento através de fusos de esferas recirculantes, com cursos de 300 mm para X e Y, e 120 mm para Z. Eixo do robô aparece na Figura 9.

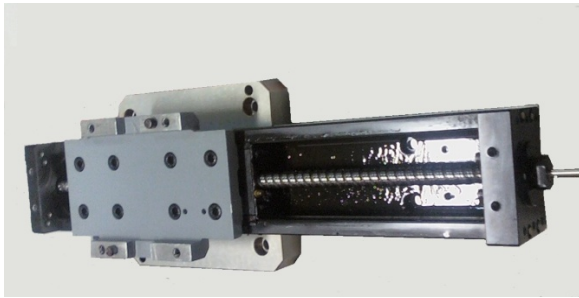


FIGURA 9 – Eixo fuso de esfera do robô.

Os antigos motores AC com *encoders* incrementais foram substituídos por motores de passo de alto torque funcionando em meio passo (400 passos por revolução).

Como o torque dos motores de passo diminui com o aumento da velocidade, e não possuem torques de pico, as polias foram trocadas, de relações de 1:1 para 2:1.

Devido à troca dos motores por motores de um padrão menor, foi necessário confeccionar flanges para adaptação. Os flanges foram usinados em um centro de usinagem CNC. Para isso utilizou-se o ambiente CAD (*Computer Aided Design*, Desenho Assistido por Computador) por meio do software SolidWorks®, e CAM (*Computer Aided Manufacturing*, Manufatura Assistida por Computador) através do software Edgcam, aonde a partir do desenho gerou-se o código G para execução da peça. A concepção mecânica renderizada em CAD e a peça em ambiente CAM podem ser visualizadas na Figura 10.

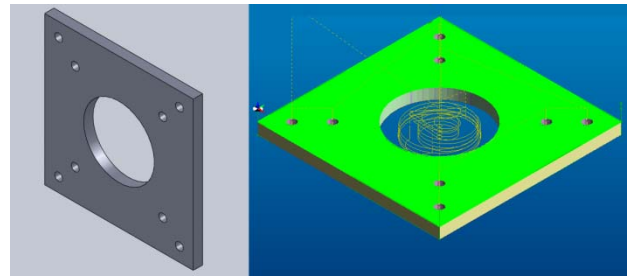


FIGURA 10 – A concepção mecânica renderizada. (a) Ambiente CAD e (b) Ambiente CAM.

5. SOFTWARE CNC

Para controlar a dinâmica do robô *Sankyo*, optou-se pelo uso do *software* controlador CNC *Mach3*. O controlador CNC *Mach3* 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 ArtSoft (2008). O *Mach3* aciona motores de passo ou servomotores através de *drives* que utilizem o padrão de comandos *step* e *dir* (passo e direção). O *software* também executa o código G, e possibilita ainda configurações de velocidade, sentido e posição para a máquina.

As telas, os botões e as caixas de diálogo do controlador são personalizáveis de acordo com cada aplicação. A tela principal do programa do controlador Mach3 possui vários campos para configuração e comandos de funções (Figura 11).

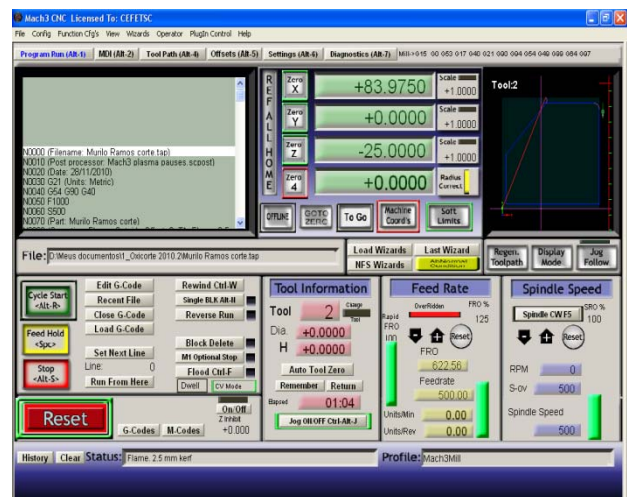


FIGURA 11 – Software Mach3.

Foi necessário configurar o *software* de acordo com as características mecânicas do robô, tais como número de passos por milímetro, a aceleração e velocidade máxima dos três eixos (Tabela 1). Também foram configurados os pinos de entrada e saída da porta paralela.

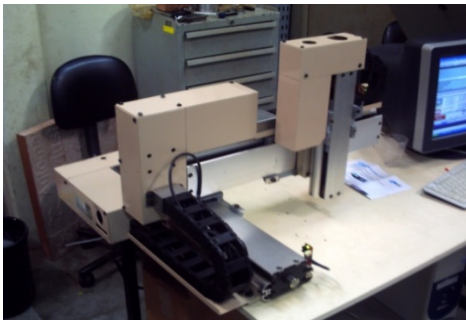
Tabela 1 – Configurações de avanço alcançadas com software CNC Mach3

Eixos Lineares	Passos/mm	V max [mm/min]	Acc [mm/s/s]
X	40	30000	1800
Y	40	30000	1800
Z	40	30000	1800

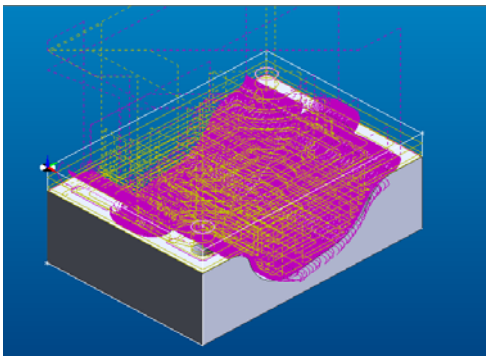
6. RESULTADOS E DIFICULDADES ENCONTRADAS

Devido ao torque estático do motor de passo ser alto mesmo desligado, verificou-se ser desnecessário o freio no eixo Z.

Chegou-se a velocidades máximas de 30 m/min em cada eixo, valor superior aos esperados com motores de passo, e resolução de 0,025 mm. Uma foto da estrutura final pode ser vista na Figura 12.

**FIGURA 12 – Robô após retrofitting.**

Para ensaio de repetitividade e para verificar o bom funcionamento dos motores, foi executado diversas vezes um programa em código G com 29046 linhas, gerado no EdgeCam, para execução de um molde em forma livre (Figura 13).

**FIGURA 13 – Molde executado no EdgeCam.**

A posição de zero máquina foi medida antes e após a execução do programa com um relógio comparador no eixo Y (o eixo inferior, com maior carregamento), e pela ferramenta “verify” do Mach3, que executa o home novamente e compara a posição real com a do software. O resultado foi uma variação de aproximadamente $\pm 0,005$ mm no relógio comparador, valor inferior à resolução do robô que, na maioria das vezes, sequer foi percebido pelo Mach3 (Figura 14).

**FIGURA 14 – Relógio comparador antes e depois da execução do código.**

7. CONCLUSÃO

Ao final do trabalho, obteve-se êxito e resultados melhores que os esperados para um *retrofitting* de baixo custo com motores de passo.

Juntamente com toda a estrutura mecânica, o gabinete eletroeletrônico desempenhou com excelência a função de controle do robô cartesiano Sankyo.

Posteriormente, nos passos seguintes, desejava-se, através de testes mais complexos, modelar corpos de prova de acordo com as normas da ABNT NM-230 para determinar com segurança a repetibilidade e precisão do robô Sankyo.

Dessa forma, podemos validar o projeto de *retrofitting* por inteiro e quantificar todas as vantagens de tal processo.

REFERÊNCIAS

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

PANSIERA, P.E., **A Ciência do Retrofitting - Conceitos Básicos**. Revista Mecatrônica Atual, v. 1, nº 2, Tatuapé -SP, Brasil, p. 41 - 43, 2002.

APPLIED Motion Products. **Hardware Manual STR4 & STR8 Step Motor Drives**. 2010.

BACK, N. [et al.]. **Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manole, 2008.

CNCBR. **Manual da placa de interface INT-4AXRL**. 2009.

SANKYO ROBOTICS. **CCR-M Series Hardware Manual- SC3000 Robot Systems**. 2001.