

Implantação de um 6º eixo no robô Scorbot-Er V em um sistema didático

Francisco Osmar de Jesus¹ francis.osm@ig.com.br
Francisco José Grandinetti² fgrandi@unitau.br
Fabio Rossetti de Oliveira³ fabiorossetti@uol.com.br
José Rubens de Camargo⁴ jcamargo@unitau.br

Resumo: Esse trabalho tem como objetivo o estudo e análise da implantação de um sexto eixo no robô Scorbot, para diminuir o tempo de troca do robô e das estações de trabalho em sala de aula, visando melhorar a visão do aluno em relação a aprendizagem na área de automação industrial e robótica tornando-a sistêmica, dando-lhe assim capacidade de integrar vários sistemas. Foi feita uma análise dos ambientes onde os alunos são treinados na programação de robôs e observou-se que no desenvolvimento desta tarefa, havia duas restrições básicas: A dificuldade na programação e movimentação física do robô na troca das estações de trabalho, que levavam em torno de três horas e não era possível a integração de CLP, IHM, inversores de frequência, motores AC, sensor de posicionamento e fuso de esferas no ambiente de laboratório. Será apresentada a análise da precisão do sistema mecânico do sexto eixo implantado, permitindo uma visão do funcionamento do posicionamento, através do sensor acoplado no eixo de fuso esférico, o qual é acionado por um motor AC transmitindo e convertendo o movimento circular para linear através de uma relação de polias. Com o estudo do sensor de posicionamento foi possível proporcionar condições para entender a conversão de tensão para uma posição determinada, levando em consideração a relação do fuso de esferas com o acoplamento do sensor de posicionamento. O resultado obtido foi a diminuição do tempo de três horas para cinco minutos na troca das estações de trabalho e uma precisão de décimos de milímetros para o posicionamento do robô, com integração de sistemas foi possível melhorar a aprendizagem do aluno e mostrar para a chefia a importância da integração de sistemas. **Palavras-chaves:** Fuso de esferas, robô Scorbot-Er V, CLP, IHM, Sensor de posicionamento.

Implantation of one 6º axle in the robot Scorbot-Er V in a didactic system

Abstract: This paper aims at the study and analysis of the Implantation of a sixth axis robot in Scorbot, to reduce the time to exchange the robot and up workstations in the classroom, to improve the vision of student learning regarding the area of industrial automation and robotics making it systemic, thus giving you ability to integrate various systems. It made an analysis of environments where students are trained in the programming of robots and it was observed that in developing this task, there were two basic restrictions: The difficulty in programming and physical handling of the robot in exchange for workstations, which took around for three hours and was not possible integration of the PLC, HMI, the frequency inverters, AC motors, sensors and positioning Ball Screw the environment of laboratory. It will present the analysis of the accuracy of the system implanted mechanical axis of the sixth, allowing a view of the functioning of positioning by the sensor attached to the axis of spherical zone, which is powered by an engine AC transmitting and converting the linear motion to move through a relationship of pulleys. In the study of the sensor placement was possible to provide conditions for understanding the conversion of tension to a determined position, taking into account the relationship of the Ball Screw with the coupling of the sensor placement. The result was the fall in time of three hours to five minutes in exchange for workstations and an accuracy of tenths of millimeters for the positioning of the robot, integration of systems have improved the learning of students and show leadership to the importance of integrating systems. **Keywords:** Word-keys: Ball Screw, robot Scorbot-Er V, CLP, IHM, Sensor placement

1. Introdução.

O início da era da automação industrial remonta ao século XVIII, numa altura em que as máquinas dedicadas começavam a fazer parte do processo produtivo das indústrias. O desenvolvimento das técnicas de produção veio criar novas necessidades só possíveis de satisfazer com máquinas programáveis e flexíveis, dando origem aos primeiros robôs industriais. (KLAFTER, CHMIELEWSKI, NEGIN., Fu et al., 1989) Foi no final dos anos sessenta, com base na experiência existente no campo dos telemanipuladores e das máquinas ferramentas de comando numérico, que George Devol construiu o primeiro robô industrial. A partir dessa data a robótica tem vindo a afirmar-se como uma ciência autônoma, de caráter multidisciplinar, penetrando em áreas tradicionalmente ligadas às engenharias mecânica, eletrotécnica, de computadores e outras, revelando importância crescente em áreas tão distintas como a exploração espacial, a exploração subaquática, a medicina ou a indústria. É, aliás, na indústria que tem sido investido o maior esforço, sendo a indústria automobilística um bom exemplo disso, robôs de pintura e de soldadura fazem hoje parte integrante da sua “força laboral”. (MENDES et al., 2000) Genericamente, um robô manipulador, independentemente da sua potencial aplicação, é mecanicamente concebido para posicionar e orientar no espaço o seu órgão terminal, uma garra ou uma ferramenta. A sua estrutura pode variar, mas normalmente, é possível identificar os seguintes elementos funcionais principais. (KLAFTER, CHMIELEWSKI, NEGIN., Fu et al., 1989) As transformações de coordenadas entre o espaço das juntas e o espaço operacional revestem-se de importância fundamental no controle de manipuladores, assim como seu volume de trabalho. De fato, na maioria dos casos os robôs são controlados no espaço das juntas, enquanto que o planejamento e a definição das trajetórias são, normalmente, efetuados no espaço operacional. Assim, métodos eficientes de transformação entre os dois espaços assumem um papel relevante onde, nos últimos anos, tem sido levada a cabo muita investigação. (VUKOBRATOVIC e KITSNICKI, 1986; Fu et al., 1987) Neste contexto, a programação dos robôs de braço articulado de 5 eixos, muito comum em escolas técnicas e de engenharia motivou o estudo para implantação de um sistema de movimento horizontal do robô Scorbot. Iniciou-se o desenvolvimento deste trabalho em 2007, com o objetivo de criar alternativas ao processo de programação de robôs, tendo como local do desenvolvimento os laboratórios do SENAI de Taubaté/SP. Foi feita uma análise dos ambientes onde os alunos são treinados na programação de robôs e observou-se que no desenvolvimento desta tarefa, havia duas restrições básicas: - A dificuldade na programação e movimentação física do robô na troca de estações de trabalho. - Não era possível a integração de CLP, IHM e Inversores no ambiente de laboratório. No caso na alteração de estação ou integração entre duas estações de trabalho, sempre foi necessário desmontar o robô e montá-lo na nova estação e dificilmente poderíamos integrar as estações e manuseá-las ao mesmo tempo. O robô utilizado neste projeto é o SCORBOT-ER V figura (1.1). Este robô, fabricado pela empresa Israelense Eshed Robotec em 1992, consiste de um braço mecânico composto por cinco articulações: base, ombro, cotovelo e pulso, sendo que este último possui duas, articulações e uma garra com dois estágios (aberta e fechada). O robô SCORBOT-ER V utiliza como linguagem de programação a Linguagem ACL (Advanced Control Language). Eshed (1992) A motivação da pesquisa foi gerada pela observação das estações de trabalho que são utilizadas no treinamento dos alunos do curso técnico na escola SENAI de Taubaté e tem como objetivo o aumento do volume de trabalho do robô e integrar equipamentos como a IHM, CLP, inversor de frequência, Motor A.C, Sensor de posicionamento e Fuso de esferas, buscando assim eliminar os problemas de posicionamento e integração das estações trabalho. Este trabalho permitiu a compreensão da integração da IHM e o CLP, controlando um robô, facilitando a aprendizagem do aluno e passando a visão sistêmica de uma automação industrial. Foi possível avaliar a análise da precisão do sistema mecânico do sexto eixo implantado, permitindo uma visão do funcionamento no posicionamento através do sensor acoplado no eixo de fuso esférico, possibilitando a compreensão da conversão da diferença de potencial de 0 – 10 V para uma posição determinada de 0 – 600 mm, levando em consideração a relação do fuso esférico com o acoplamento do sensor de posição.

Esse trabalho resultou a integração de duas estações de trabalho, manipulando duas peças diferentes, em linhas de produção diferentes, sem necessidade de um novo SETUP na máquina.

2. Materiais e metodologia.

Para a montagem do sistema foi utilizado à elaboração de uma seqüência no desenvolvimento do projeto e da montagem do protótipo. O robô Scorbot Er V Figura (1) fica fixado na base da parte superior no sistema do sexto eixo, o qual deverá permanecer em sua posição zero, até que um comando manual ou automático lhe seja enviado.



Figura 1 - SCORBOT-ER V.

O diagrama de bloco da figura (2), demonstra como foram divididas as partes para o desenvolvimento do projeto. O funcionamento basicamente tem dois modos operacionais: Manual e automático. No modo manual controla pelo console apenas os movimentos para esquerda ou direita, de acordo com a posição do operador de frente para o equipamento e por segurança quando o sexto eixo esta em movimento, não haverá acionamento do robô. Os comandos foram colocados juntos no console com o CLP e IHM, facilitando as operações, conforme apresentada na figura (3). No modo automático, o sistema deverá ser acionado de acordo com o descritivo a seguir, obedecendo à seqüência: 1- Deverá ser carregado o programa via o computador. 2- A chave manual/automático deverá ser selecionado no modo automático (chave em 1). 3- Entrar com o dado na IHM da posição da entrega da peça (valor em mm), a qual será manipulada. 4- Ajustar o potenciômetro de controle de velocidade para a velocidade desejada. 5- O início do ciclo deverá ser iniciado quando o sensor S3 acusar a peça na posição. 6- Quando a peça for detectada na posição inicial, o robô deverá iniciar seu programa que tem como objetivo a retirada de uma peça da posição inicial e levá-la até o ponto de entrega.

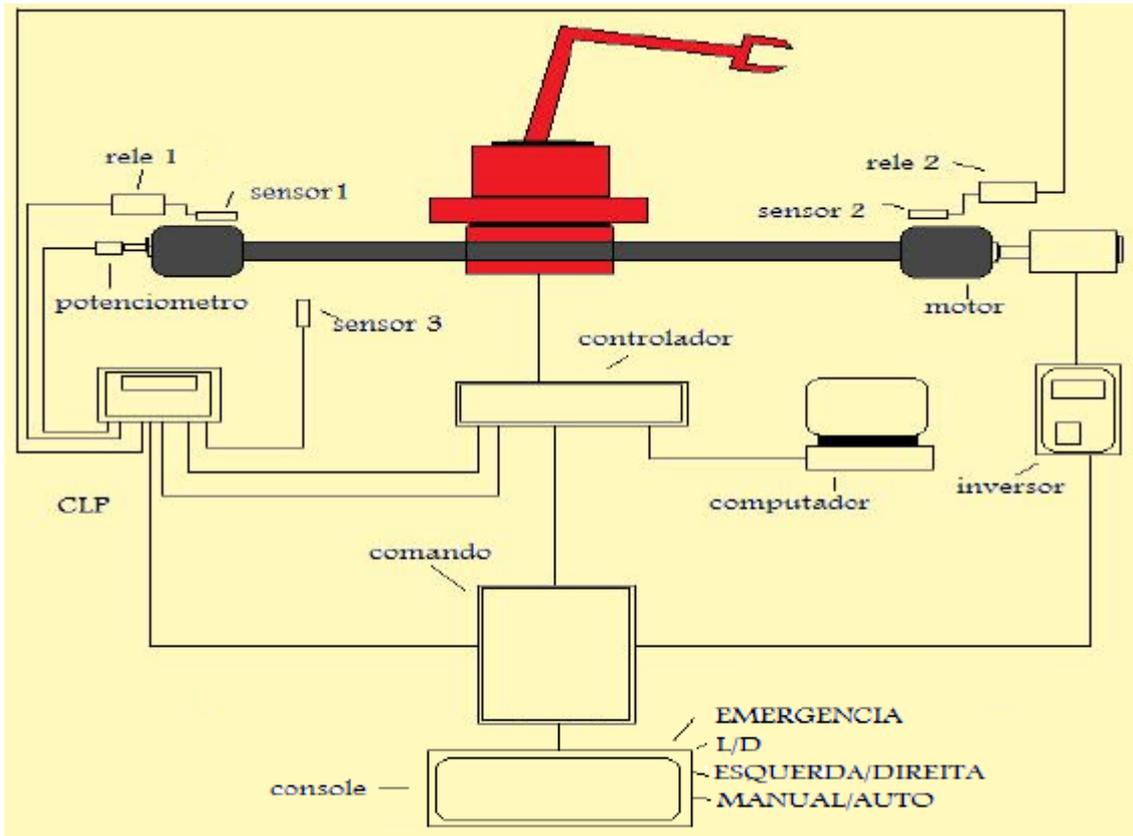


Figura 2 – Diagrama de bloco do sistema.

2.1 Descrições do sistema.

Cada bloco do sistema trabalha desenvolvendo uma função e a compreensão de cada um deles dará um panorama do funcionamento sistêmico do dispositivo. A análise inicial poderá ser pelos sensores. - Sensor 1 e 2 – Utilizou-se o sensor tipo indutivo com acionamento de 2 mm, servindo como final de curso da mesa, assim evitará colisões se o sensor de posicionamento falhar. Foi colocado um relé para fazer o acoplamento entre o sensor e a entrada do PLC, evitando a diferença de tensão de trabalho dos dispositivos; - Sensor 3 – Tem como finalidade detectar a peça que será transportada; - Potenciômetro de posicionamento – Este foi interligado com o movimento rotativo do fuso através de um jogo de engrenagem e tem como finalidade transformar a distância percorrida pela mesa em tensão de 0 – 10 V, será demonstrado no item 3.2 o cálculo desta transformação; - Inversor de frequência – Tem como função controlar a partida, frenagem e velocidade de trabalho da mesa; - Controlador – Este equipamento controla o movimento do robô, consiste em uma CPU com módulos de potência que controlam os motores do robô e módulos de entradas e saídas para interfaces com outros equipamentos; - CLP e IHM - O controlador lógico programável com Interface homem-máquina já embutido, tem como função fazer o controle do inversor, robô, comando e a transformação do valor analógico do potenciômetro em digital; É possível por intermédio da IHM entrar com dados para o movimento do robô ou ver o dado de posicionamento do robô e acionar o sexto eixo através das setas. - Comando – O comando é onde esta a parte de potencia para acionar o inversor, controlador, CLP e computador do sistema. - Console - Onde se encontra as botoeiras e o PLC instalados. - Motor – Movimentará o sistema através de um acoplamento de polias com o fuso, que transformam o movimento rotativo do motor em linear.



Figura 3 – Console de comando do sexto eixo.

3. Cálculos descritivos do projeto.

3.1 Curso do fuso de esferas.

O fuso de esferas tem o comprimento de 640 mm, mas utilizou-se de seu curso 600 mm dando uma sobra para proteção de 20 mm de cada lado. Para cada volta do fuso seu deslocamento é 14,3 mm, assim é obtido uma quantidade de 42 voltas do fuso. Este dado é importante, pois foi usado para calcular qual seria a relação entre quantidade de voltas do fuso com o potenciômetro de posicionamento.

$$N = \frac{\text{numfuso}}{\text{numpot}} = \frac{42}{7} = 6$$

Onde: *numfuso* = Número de voltas do fuso.

Numpot = Número de voltas do potenciômetro.

Cálculo da relação do sistema de posicionamento. Foram utilizadas quatro engrenagens para obter uma relação de 6x1, tendo as seguintes dimensões E1=10 mm, E2=30 mm e E3=15 mm. E4=30 mm.

$$Nr1 = \frac{E2}{E1} = \frac{30}{10} = 3 \qquad Nr2 = \frac{E4}{E3} = \frac{30}{15} = 2$$

Onde: Nr1= Relação da engrenagem 1 com a 2.

Nr2= Relação da engrenagem 2 com a 3

Obtendo assim:

$$NrT = Nr1 \times Nr2 = 6$$

Onde: Nrt= Relação total do conjunto de engrenagem. - Cálculo do potenciômetro de posicionamento. O percurso total do fuso será de 600 mm, então ao aplicar a relação de 6 x 1 para cada 100 mm teremos uma tensão de referência de 1,6666 V no potenciômetro. Com o potenciômetro a 100% teremos 10 v resultando no número 32.768 armazenado no CLP, mas com a fórmula de escala teremos um número resultante de 22937.

$$\frac{10V}{32,768} \times V_{ncpl} = V_{pot}$$

Onde: Vncpl = valor do número armazenado no CLP Vvpot = Valor da tensão de saída do potenciômetro de posicionamento Como foi colocado um potenciômetro com valor de 5KΩ e 9 voltas, foi adicionada uma volta de segurança para cada lado do posicionamento do robô, sobrando 7 voltas para o percurso, Foi obtido o valor inicial do potenciômetro igual a 1,11V e final de 7,77V o que corresponde para o CLP o Vncpl de 3.640 e 25.483, respectivamente.

3.2 Dimensionamento do fuso.

Para o dimensionamento do fuso de esferas deve-se iniciar com o levantamento da carga, que será utilizada pelo dispositivo projetado. O peso levantado da carga foi de 200 N, este foi o ponto inicial para a escolha do fuso. Considerando a formula abaixo:

$$F_{cmax} = F_k \cdot f_c$$

Fcmax = máxima carga permitida, que será menor ou igual que: COa capacidade de carga estática (N).

F_c = fator de correção = fator de segurança. Recomenda-se utilizar valor de 1,5.

F_k = fator de carga do eixo (N).

$$\text{O total de } F_{cmax} = (200N + 40N) \times 1,5 = 360N.$$

3.2.1 Dimensionamento do Motor de indução.

O motor de indução tem como finalidade de movimentar o fuso de esferas.

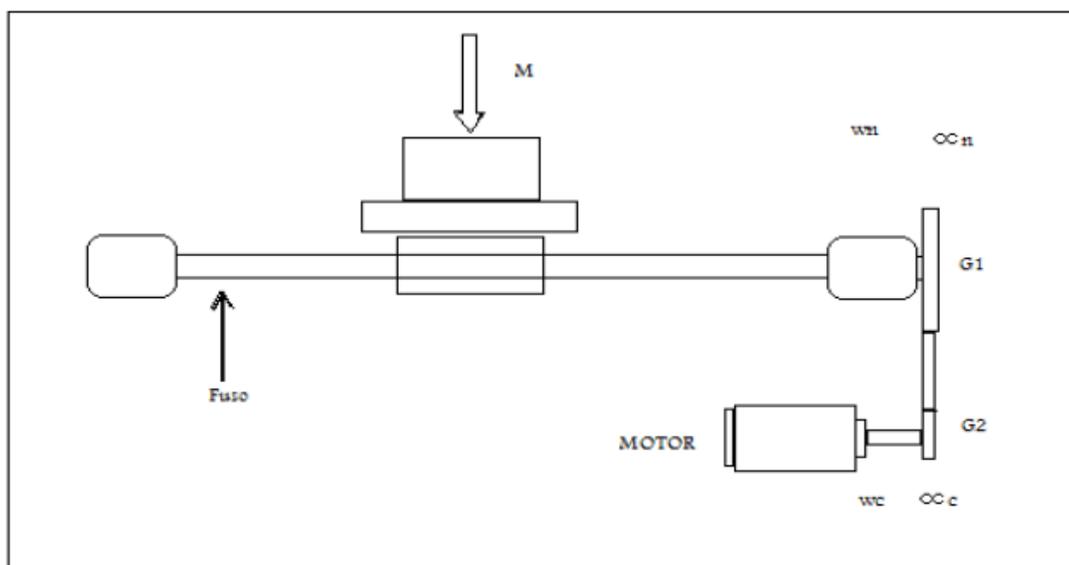


Figura 4 - Desenho para dimensionamento do fuso

A figura (4) apresenta alguns parâmetros necessários para montagem das equações no dimensionamento do torque necessário para o movimento do fuso de esferas com a carga. Mas antes de iniciado o projeto coleta-se os dados mostrados nas tabelas abaixo.

Tabela 1 – Dados do motor.

Característica do motor utilizado.	
Potência	1CV
Par de Pólos	4
Resistência do Estator	8,2 Ω
Indutância do Estator	0,25467 Ω
Resistência do rotor	4,84 Ω
Indutância do rotor	0,21345 Ω
Indutância mútua	0,24561 Ω
Inércia mútua	0,0027 kg.m ²
Fator de fricção	0,0001 Nms

Tabela 2 – Dados das polias.

Característica da relação polia	
Polia menor (motor)	60 mm
Polia maior (fuso)	150 mm
Peso da polia menor	320 g
Peso da polia maior	690 g

Tabela 3 – Dados do fuso de esferas.

Característica do fuso de esferas e guias	
K (coeficiente de atrito)	20 Kg μ m
Inércia	0,134 Kg m ²
μ g (coeficiente de atrito da guia)	0,003

Tabela 4 – Dados da engrenagem do potenciômetro.

Característica da relação engrenagem do potenciômetro	
Engrenagem do eixo	10 mm
Engrenagem 1	30 mm
Engrenagem 2	15 mm
Engrenagem potenciômetro	30 mm

Para iniciar o dimensionamento do motor de indução deveremos seguir a seguinte ordem:

a) Torque estático devido atrito na guia.

Mm = massa da mesa

Mp = massa do robô + peça

$T\mu e$ = Torque estático

μg = Coeficiente de atrito nas guias.

b) Torque estático da peça e da mesa.

$$T\mu e = (Mm + Mp) \cdot g \cdot \frac{P}{2\pi} \cdot \mu g$$

$$T\mu e = (20kg + 4kg) \cdot \frac{10m}{s^2} \cdot \frac{0,005m}{6,28} \cdot 0,003 = 5,73 \cdot 10^{-4} \text{ kgf} \cdot m^2 \cdot s^2$$

$$T\mu e = 5,73 \text{ kgf} \cdot cm^2 \cdot s^2$$

c) Inércia dinâmica da peça.

$$Jp = (Mm + Mp) \cdot \left(\frac{P}{2\pi}\right)^2$$

$$Jp = (20kg + 4kg) \cdot \left(\frac{0,5cm}{2\pi}\right)^2$$

$$Jp = 0,152 \text{ kgf} \cdot cm^2$$

d) Inércia da dinâmica do fuso

$$J_f = M_f \cdot \left(\frac{d_f}{2}\right)^2$$

$$J_f = 13,54 \text{ kgf} \left(\frac{2\text{cm}}{2}\right)^2$$

$$J_f = 13,54 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2$$

e) Inércia da carga

$$J_c = j_f + j_p$$

$$J_c = 13,69 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2$$

f) Cálculo da aceleração:

-Considerando velocidade máxima $V_m = 10 \text{ cm/s}$

g) Considerando tempo de aceleração $T_1 = 0,2 \text{ s}$

$$\alpha = \frac{V_m}{T_1} = \frac{10\text{cm/s}}{0,2\text{s}} = 2,5 \text{ cm/s}^2$$

- Cálculo do torque total:

$$T = \alpha(Jc + jr) + T\mu e$$

$$T = 2,5 \text{ cm/s}^2 (13,69 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2 + 27 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2) + 5,73 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^2$$

$$T = 107 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2$$

$$T = 0,0107 \text{ kgf} \cdot \text{m}^2$$

h) Relação polia e de $N1/N2$

$$Tr = \frac{0,0107}{2,5} = 0,005 \text{ Kgf} \cdot \text{m}^2$$

i) Velocidade angular.

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60 \cdot t1}$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 1680}{60 \cdot 0.2}$$

$$\omega = 879 \text{ rad/s}$$

j) Torque e potência fornecida pelo motor.

$$Tr = JTr \cdot \omega$$

$$Tr = 0,005 \cdot 879$$

$$Tr = 4,39 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$CV = \frac{(\text{Torque}(\text{Kgm}) \cdot N(\text{rpm}))}{716,2}$$

$$CV = 0,99 \text{ CV}$$

4. Resultados Técnicos.

4.1 Frenagem.

O primeiro resultado satisfatório está na frenagem, obtendo uma precisão significativa, conforme mostrado na tabela 5.

Tabela 5 - Tabela de dados da frenagem.

amostra	velocidade	Espaço percorrido antes da frenagem	Tempo frenagem	Espaço percorrido após frenagem
1	20 mm/s	400 mm	40 ms	400,0 mm
2	40 mm/s	400 mm	41 ms	400,0 mm
3	80 mm/s	400 mm	43 ms	400,1 mm
4	10 mm/s	400 mm	67 ms	405,2 mm
4	120 mm/s	400 mm	100 ms	409,6 mm

Fonte: Ensaio utilizando laboratório de projetos do SENAI DE TAUBATÉ

Por meio de um sensor óptico instalado, foi analisado o exato momento em que a mesa do robô atingia os 400 mm, acionando o sistema de frenagem que consiste em: - Frenagem do motor – Através do inversor de frequência, o qual foi colocado 80 % da corrente do motor para frenagem. - Frenagem mecânica do eixo – Foi acionado um freio mecânico com acionamento de 20 ms, dando maior precisão ao conjunto de frenagem. Após o acionamento do sensor óptico em uma das entradas do dispositivo microcontrolado é acionada a contagem do tempo em mili segundos, a contagem tem seu final quando um sinal enviado pelo inversor de frequência detecta parada de movimento do motor do fuso.(A precisão de frenagem também é mostrada na IHM).

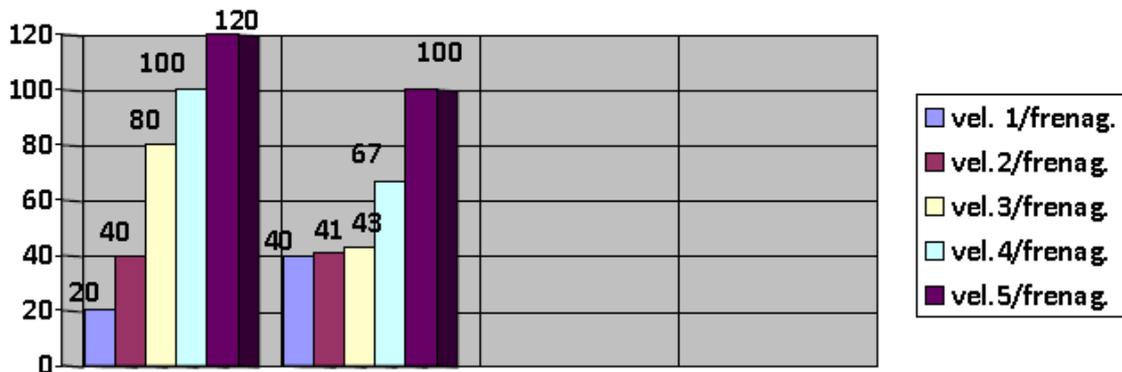


Figura 5 – Desempenho da frenagem.

A Figura (5) demonstra, que ao atingir velocidades acima de 80 mm/s o sistema de frenagem não mantém a precisão de parada ultrapassando 9,6 mm. Na aplicação prática a velocidade não deverá ultrapassar 60 mm/s, como o previsto em projeto, teremos erro de apenas décimos de milímetros, que na aplicação desenvolvida foi excelente.

4.2 Troca da estação de trabalho.

Antes da instalação do sexto eixo na sala de aula, a troca das estações pneumáticas de trabalho levava em torno de 3 horas devido a troca de mesa do robô, reprogramação do robô para o novo ambiente e ajuste da estação para adequar aos movimentos do robô. Com o novo sistema a troca foi reduzida para 5 minutos, tempo necessário para verificar se as duas estações e robô estão corretamente programados.

4.3 Aplicações em sala de aula.

Foi verificado em sala de aula que o rendimento da aprendizagem considerando à visão sistêmica aumentou, estes índices são mostrados na figura (6), o qual foi aplicado o mesmo problema para duas turmas diferentes. (Turma A e Turma B) Conforme descrito: Turma A: Foi ensinado separadamente o conceito de PLC, motores de indução, IHM, sensores, mecânica do fuso, lógica de programação, robótica e células de trabalho. Turma B: Os mesmos conteúdos, mas aplicados na célula de trabalho (robô, sexto eixo, estação Festo 1 e 2).

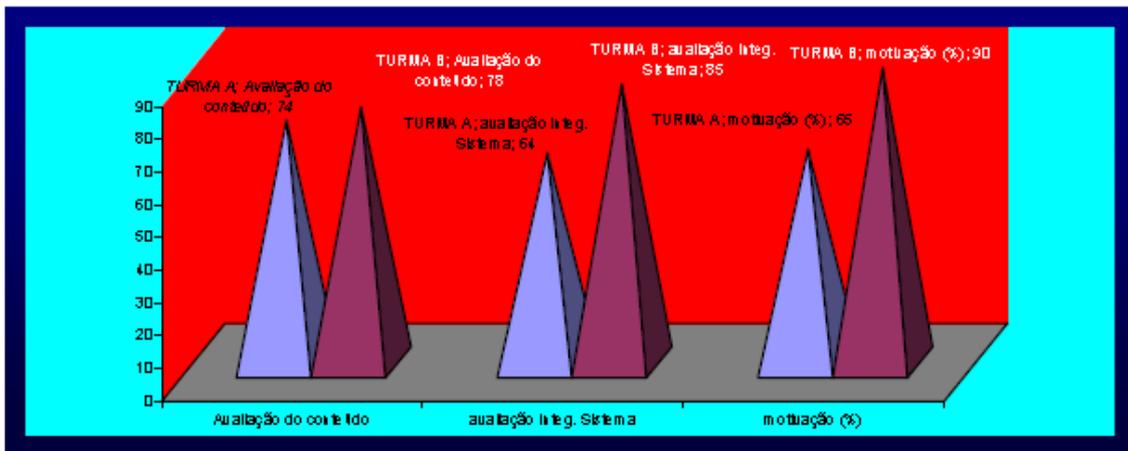


Figura 6 – Rendimento da aprendizagem.

5. Conclusões.

De acordo com os resultados obtidos pelos ensaios e aplicações do sistema, pode-se concluir que: a) A precisão obtida de posicionamento do robô foi o esperado, tendo uma real aplicação de movimentos e programação dentro de um sistema de manufatura. A utilização de um potenciômetro como sensor de posicionamento demonstrou que o conceito envolvido é muito importante para o desenvolvimento de projetos na área de automação. b) Devido ao entendimento sobre a sistemática envolvida na construção do dispositivo, as aulas se tornaram práticas e motivadoras, abrindo possibilidades para fazer ensaios e pesquisas com base no dispositivo apresentado. O sexto eixo incrementado atendeu as expectativas dos docentes e alunos. c) Este trabalho motivou a chefia para planos de ação e otimização nas salas de aula, trazendo a realidade do mercado de trabalho para dentro da escola. O desenvolvimento do projeto demonstrou a importância da compreensão sistêmica de processos, qualificando profissionais para o mercado de trabalho de acordo com o perfil exigido.

6. Agradecimentos.

Os autores desse trabalho agradecem o apoio fornecido pela CAPES ao programa de pós-graduação em Engenharia mecânica da Universidade de Taubaté, sobretudo ao SENAI de Taubaté pelo recurso e incentivo dado para a concretização deste projeto de pesquisa e desenvolvimento.

7. Direitos Autorais.

Autoriza-se a cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização específica dos autores.

8. Referências.

MENDES LOPES, A., “Um Dispositivo Robótico para Controlo de Força- Impedância de Manipuladores Industriais”, Tese de Doutoramento, FEUP, Porto, Portugal, 2000.

KLAFTER, R., CHMIELEWSKI, T., NEGIN, M., “Robotic Engineering, an Integrated Approach”, Prentice-Hall International Editions, London, 1989.

MARTINS, CRUZ DENIZAR., “Apostila de Filtros de Saída para Inversores CC-CA” , Publicação Interna , UFSC/CTC/EEL/INEP, 2000.

SANDIN, E. PAUL., “Robot Mechanisms and Mechanical Devices, Mc Graw-Hill”, 2º Edition, London, 2003.

SILVA, LUÍS., “Instrumentação Industrial, edição electrónica”, FXs, Portugal, 2005. ESHED ROBOTEC., “Scorbase para Windows, Scorbot ER , manual”, rev. A, Disponível em <http://www.eshed.com>, 2000.

NSK., “Fusos de esferas, Guias lineares, produtos para mecatrônica” Disponível em <http://www.nsk.com.br>, 2000.