



CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

PROJETO DE CÉLULA DE MANUFATURA ROBOTIZADA DE BAIXO CUSTO PARA APLICAÇÃO DIDÁTICA

Jônatas Iago Silva, jonatas-iago@hotmail.com¹

Daniel Queiroz Moraes Resende, dqmresende413@gmail.com¹

Rafael Sousa Silva, rafael.s.silva1997@gmail.com¹

Alexander Patrick Chaves de Sena, alexander.sena@caruaru.ifpe.edu.br¹

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco — IFPE. Estrada para o Alto do Moura Km 3.8, CEP 55040-120, Caruaru-PE, Brasil.

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma célula de manufatura didática de baixo custo constituída por um robô manipulador tipo SCARA com cinco graus de liberdade, uma esteira transportadora e um magazine de armazenamento. O protótipo SCARA apresenta uma inovação em relação aos manipuladores tradicionais de base fixa, modificando-se esta estrutura para que desenvolva movimentação linear horizontal, o que irá proporcionar uma maior extensão do volume de trabalho, minimizando-se uma presente limitação destas máquinas. O conjunto é acionado por motores de passo em técnica de micropasso, interfaceados por circuitos drivers de potência, que receberão sinais de controle de um sistema embarcado microcontrolado por PIC18F4550. O sistema de controle de posição é do tipo contínuo em arquitetura aberta. A célula passou por fase de desenvolvimento e testes do sistema mecânico, circuitos de interface, de firmware em linguagem C de programação, construção de interface homem-máquina e montagem do sistema embarcado, com o objetivo de explorar todas as características de velocidade, flexibilidade e repetibilidade. Resultados experimentais sobre o controle de posição serão apresentados. Este protótipo permite a validação de estratégias de controle e a realização de testes experimentais para a realização de trajetórias planejadas dentro do espaço de trabalho.

Palavras-chave: Manipulador SCARA, Célula de Manufatura, Robótica, Controle, Protótipo.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de manufaturas programáveis e flexíveis há muito tempo tomaram-se objeto de interesse das indústrias no mercado contemporâneo, devido à busca constante de melhoria técnica, visando ao aumento de flexibilidade, bem como ao crescimento da competitividade ao longo destes últimos anos. As tarefas repetitivas, principalmente aquelas de processamento de materiais, podem ser realizadas pelas máquinas automáticas, geralmente robóticas, com grande repetibilidade. Objetivando-se um auxílio nas práticas laboratoriais das disciplinas na área de controle, a presente proposta exemplifica a importância da metodologia de projetos integralizadores multidisciplinares como instrumento pedagógico facilitador e eficiente no aprendizado de vários conceitos de engenharia associando, didaticamente, os elementos usados na prática com a teoria apresentada em sala de aula. A célula de manufatura que foi montada é composta por manipulador SCARA, uma esteira transportadora e um magazine de armazenamento.

Dentro do vasto campo dos sistemas robóticos, podem-se destacar os dispositivos que são chamados de manipuladores robóticos, que são robôs utilizados para mover objetos ao seu redor. Essas máquinas encontram aplicações em diferentes campos desde a área industrial, onde desempenham as mais variadas funções como manipulação de materiais, soldagem, pintura a spray, dentre outros. Criado em 1979 na Universidade de Yamanashi, no Japão, o robô SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) foi desenvolvido a fim de atender uma demanda específica da indústria, mas por se popularizar, deixou de ser uma configuração especial (Stone e Kurfess, 2005). Alguns autores têm estudando este tipo de manipulador, tais como Bitencourt et al. (2013); Battistella, Pieri e Stemmer (1999), Padoin, Odair e Valdiero (2010).

Frequentemente a operação em localizar e manipular para estocar, estacionar e armazenar determinado objeto pode ocasionar inconvenientes tais como defeitos ou danos devido ao acondicionamento, violações de conteúdo, perdas ou trocas, se tornando um problema comum em terminais de passageiros, bibliotecas, guarda volumes, estacionamentos, estoques comerciais, dentre outros. O protótipo em baixa escala trata-se de uma solução para manipulação e armazenamento de estoques.

Tendo em vista a constante busca por melhorias na metodologia de ensino, é crescente a necessidade de aperfeiçoamento nas técnicas de educação, sendo uma das maneiras mais eficientes, a união da teoria com a prática. De acordo com Rothe-Neves, Silva e Barreiros (2004), a utilização de protótipos didáticos no ensino e pesquisa é fundamental tanto para estimular alunos, quanto para direcionar os professores a não limitar a educação aos métodos comuns, como: quadro, projeto e simulações, que apenas com a teoria, podem dificultar o entendimento e ocultar problemas existentes nos sistemas reais. Neste contexto, a robótica apresenta grande potencial como ferramenta interdisciplinar, visto que a construção de protótipos, em geral faz com que o aluno questione e seja capaz de relacionar diferentes conhecimentos e aptidões, de forma a solucionar um problema (Celinski et al., 2012). Recentemente diversos trabalhos têm proposto sistemas robóticos de baixo custo com aplicabilidade educacional, tais como Cocota et al. (2014); Silva, Barreto e Lemos (2012); Medeiros Filho e Gonçalves (2008).

O objetivo proposto trata-se do desenvolvimento e do controle de posição em arquitetura aberta, aplicado a um manipulador robótico tipo SCARA com quatro graus de liberdade para posicionamento e um grau referente ao efetuador tipo garra. O manipulador irá trabalhar em célula de manufatura, coletando peças de uma esteira transportadora e armazenando em magazine. O conjunto é acionado por motores de passo em técnica de micropasso, interfaceados por circuitos drivers de potência, que receberão sinais de controle de um sistema embarcado microcontrolado por PIC18F4550.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

O manipulador SCARA projetado pelo laboratório de instrumentação e controle do IFPE Caruaru apresenta uma base XY com cada eixo acionado de forma independente por motores de passo de 9,9 Kgf.cm e transmissão por sistemas polias/correias. Na base linear, foi acoplado um braço articulado com duas juntas acionadas por motores de passo de 5,5Kgf.cm. O braço articulado foi montado no plano horizontal e por isso qualquer influência da força gravitacional pode ser desconsiderada. A garra é acionada por Servomotor do tipo S3003. Todo conjunto robótico é controlado por meio de um sistema embarcado composto atualmente por microcontrolador e drivers comerciais. Especificamente, o mecanismo consiste de base XY com 50 cm de curso, montados em guias lineares de esferas, sistema de transmissão por polias tipo GT2-20 de alumínio e correia dentada GT2/6mm. Perfis de alumínio quadrado de 100mm foram utilizados para abrigar as guias lineares, bem como perfis quadrados de 60mm fora utilizados para sustentação de todo conjunto. O braço robótico acoplado foi fabricado com elos de perfis de alumínio de 60mm e juntas de alumínio usinadas, onde são acoplados os motores.

O motor de passo é um dispositivo atuador incremental que realiza movimentos angulares discretos. A cada pulso recebido pelo sistema embarcado o eixo do motor gira um determinado ângulo, denominado ângulo de passo do motor. Portanto, o controle de posição com estes motores pode ser implementado pelo domínio da quantidade de pulsos enviados. A velocidade é controlada pela frequência destes pulsos. O fato da magnitude do ângulo de passo ser constante faz com que o motor seja de grande utilidade em aplicações relacionadas a posicionamento, uma vez que, caso a operação se dê dentro dos limites de trabalho do motor, não é necessário monitorar a posição do seu eixo a cada instante, o que caracteriza o seu controle como sendo de malha aberta (Barreto, 2005).

Para que o manipulador desenvolva seu trabalho com precisão e repetitividade é necessário que, além de adequados mecanismo e acionamento, possua um sistema de controle eficiente (Padoin, 2011). Além do motor de passo em si, é necessário para a sua operação um dispositivo eletrônico denominado driver (Barreto, 2005), que controla o chaveamento da corrente, que pode chegar a vários ampères, a partir de sinais lógicos (pulsos) recebidos como entrada. No modo de operação em micropasso, o ângulo de passo natural de um motor pode ser dividido em muitos ângulos menores, por meio do controle de corrente que flui por cada enrolamento, o qual origina uma componente do campo magnético resultante de acordo com um modelo trigonométrico.

A utilização de um circuito de limitação de corrente, que liga e desliga as tensões nas fases, é conhecida por pulse width modulation ou modulação de largura de pulso (PWM), que faz a corrente flutuar em torno do valor nominal desejado (Barreto, 2005). A ação de ligar e desligar a tensão tornou-se conhecida como “chopping”. Controladores avançados de motores de passo podem utilizar modulação de largura de pulso para realizarem micropassos, obtendo assim uma maior resolução de posição e operação mais macia.

Na Fig. 1 é apresentado o diagrama de blocos proposto para o acionamento de cada grau de liberdade que atua no posicionamento do manipulador.

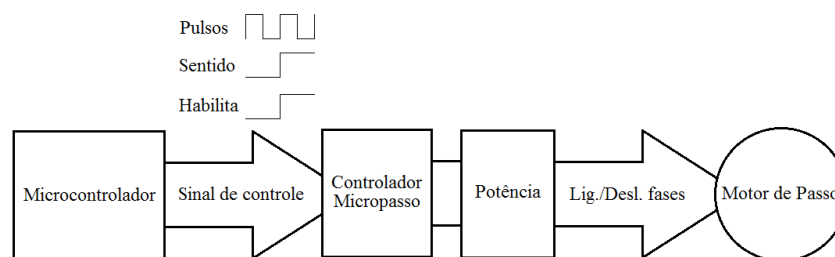


Figura 1. Diagrama de blocos proposto para o acionamento do motor de passo com operação em micropasso.

O controle do robô, bem como sua sincronização com a esteira foi programado em Linguagem C/C++ utilizando um sistema embarcado microcontrolado por PIC18F4550 (mestre), e a interface homem máquina foi realizada por PIC18F2550 (escravo). O conjunto é uma ferramenta de arquitetura aberta e eficiente, não havendo a necessidade de remoção do microcontrolador para a atualização do firmware. O software de gravação é executável e reconhecido automaticamente pelo sistema operacional sem a necessidade de instalação de driver (bootloader). Entrada para fonte externa com regulador 7805. O sistema utiliza a Communications Devices Class (CDC), que emula uma porta COM RS-232 virtual, por meio de canal USB 2.0, dispõe internamente de 13 conversores A/D de 10 bits e utiliza um cristal oscilador externo de 20 MHz para gerar a frequência de 48MHz da comunicação USB, por meio de prescaler multiplicador de frequência. O sistema pode ter interface IHM a distância por modem Bluetooth JY-MCU SLAVE HC-04 configurado em 19200 bps. São utilizadas 12 saídas analógicas para o envio de sinais de controle para os motores, e o controle numérico é realizado por meio de teclado alfanumérico e visualizado em display LCD 16x2 I2C.

Para o movimento dos eixos XY são utilizados motores de passo KP35/9HM2 padrão NEMA 23 e para as articulações do braço motores 42BYGH4803-D padrão NEMA 17. Os motores são controlados por comando numérico em interface de programação com opção de controle a distância por Bluetooth. Os motores são acionados por meio de drivers Toshiba BL-TB6560-V2 em ligação unipolar com consumo individual máximo de 3A. O controle do motor utiliza os pinos de controle externo EN+, CW+ e CLK+ do driver. O EN+ habilita o funcionamento do sistema em nível lógico baixo, desabilitando os motores em nível alto. O pino CW+ em nível baixo habilita o sistema a girar para o sentido anti-horário, e em nível alto no sentido horário. Para determinar a velocidade da movimentação dos eixos, utilizou-se um sinal de controle PWM no pino CLK+ com largura de pulso variável, e quantidade de pulsos calculada para controle de posição. A placa de controle foi configurada em micropasso de 1/8, permitindo uma resolução de 0,225°, que para o motor utilizado corresponde a 1600 pulsos para uma volta completa. A operação do protótipo para o usuário é simples, objetiva e desenvolvida em Linguagem C/C++ em MPLAB X IDE®.

A esteira foi projetada em perfil quadrado de alumínio de 100mm com curso de 450mm. Foram utilizados eixos retificados de 8mm retirados de impressoras para montagem dos cilindros, apoiados em mancais de rolamentos. Foi utilizado um motor de passo KP35/9HM2 padrão NEMA 23 com acionamento por meio de driver Toshiba BL-TB6560-V2 em ligação unipolar.

A interface Homem Máquina montada é constituída por um Display LCD de dezesseis colunas e duas linhas em conjunto com um teclado alfanumérico de três linhas e quatro colunas controlado pelo PIC18F4550, programado em linguagem C/C++ no ambiente de desenvolvimento MPLAB X. A leitura do teclado Alfanumérico foi realizada de forma prática para alterar as os níveis lógicos das portas de saída por meio da manipulação dos bits responsáveis por essa configuração, desta forma nunca haverá duas portas ligadas simultaneamente, enquanto outro conjunto de portas configuradas como entrada de dados verifica seu nível lógico. As portas de saída foram conectadas nos pinos que energizam as colunas do teclado Alfanumérico enquanto as de entrada foram conectadas nas linhas, com essas duas informações. É possível identificar qual tecla foi pressionada e salvar essa informação em uma variável que pode ser utilizada em qualquer outra aplicação, como imprimir o número da tecla no display LCD.

A proposta da célula de manufatura com inserção da esteira transportadora e da célula de armazenamento irá simular uma aplicabilidade industrial real para o manipulador, com o processo ocorrendo da seguinte forma: uma peça será colocada no ponto inicial da esteira, sendo transportada até o sensor de presença óptico. O sensor deverá enviar um sinal para o sistema embarcado parar a esteira e iniciar um ciclo de funcionamento do manipulador. O manipulador deverá pegar a peça e transportar até uma célula de armazenamento no magazine, reconhecendo as células vazias. Um esquema da célula de manufatura proposta é apresentado na Fig. 2.

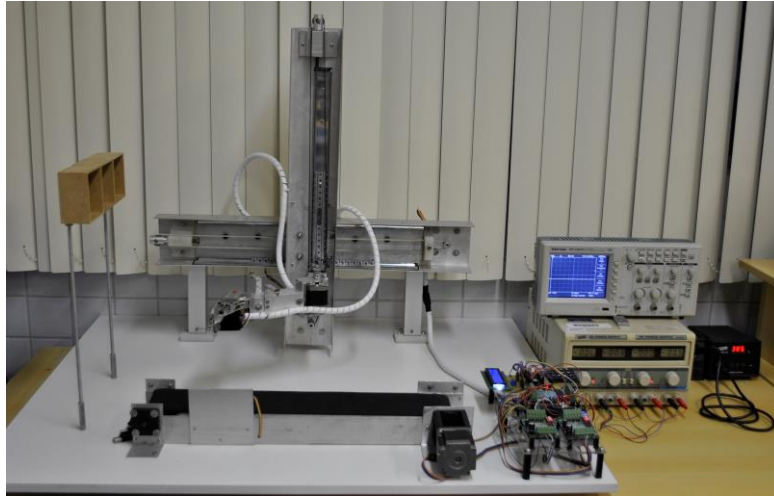


Figura 2. Esquema da célula de manufatura proposta.

A máquina é programada para a posição de inicialização e espera de tarefa em ponto zero-máquina. O conjunto de células codificadas (no magazine de armazenamento) em posições absolutas deverá ser verificado em busca de espaço vago para novo armazenamento (haverá comunicação de lotação). Na Fig. 3 é apresentado o fluxograma da programação. Na Fig. 4 é apresentado o esquemático do sistema embarcado reestruturado, que controla o manipulador SCARA e a IHM.

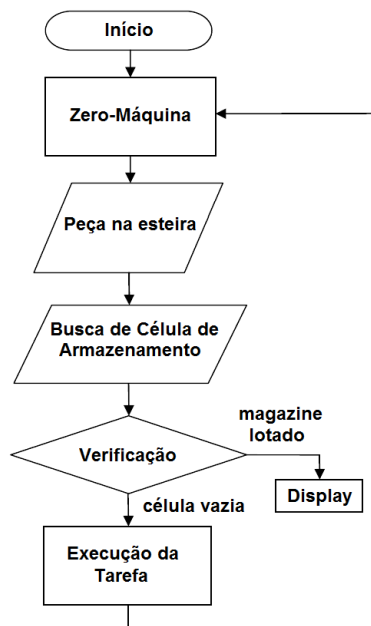


Figura 3. Fluxograma de operação funcional da IHM.

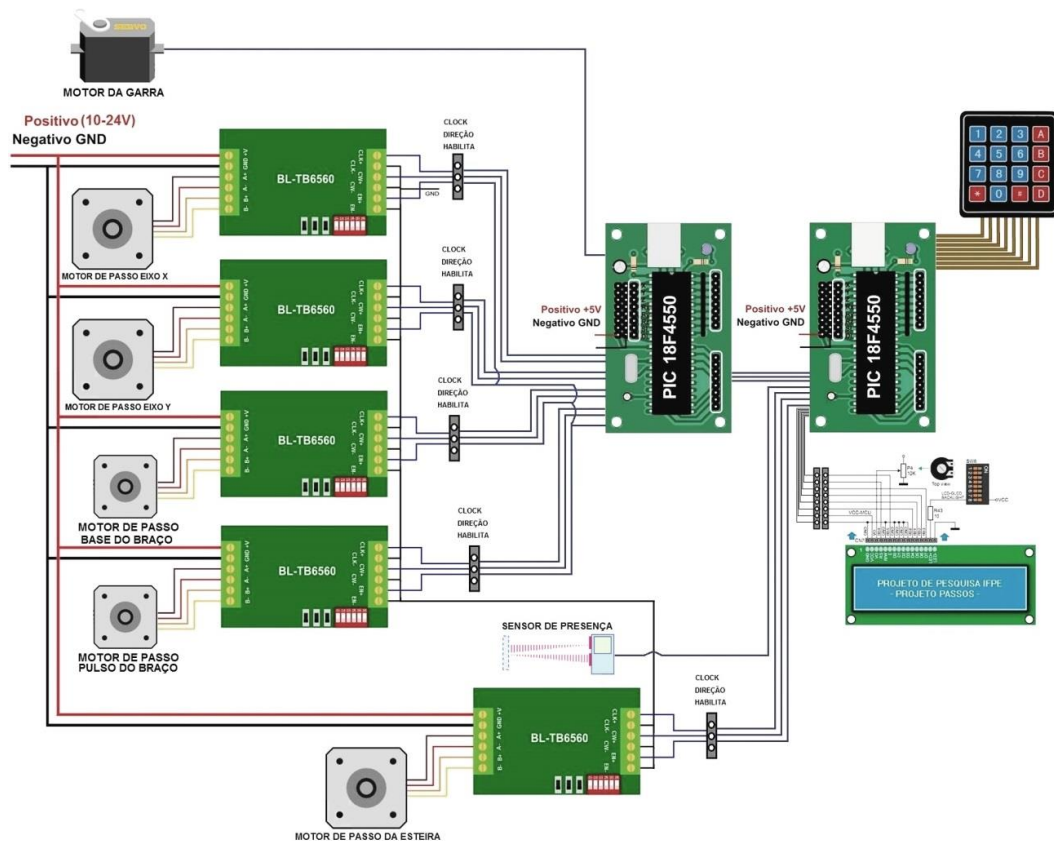


Figura 4. Esquemático do sistema embarcado reestruturado para o manipulador SCARA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliação do desempenho foi realizado um conjunto de 10 amostras para o sistema de movimentação do SCARA (todos os de seus graus de liberdade) para o espaço de coordenadas que representam a localização de células de armazenamento (x, y) conforme a Tab. 1. Os resultados foram separados em posições horizontais (x) e verticais (y) para ser observada a repetibilidade e a velocidade dos graus de liberdade nestas direções. As coordenadas horizontais foram: 304 milímetros, 203 milímetros e 101 milímetros, e as posições verticais: 218 milímetros, 145 milímetros e 73 milímetros. Isto é, as posições das células estudadas são: (304; 0), (203, 0), (101, 0), (0; 218), (0; 145), (0; 73) (304; 218), (304; 145), (304; 73), (203; 218), (203; 145), (203; 73), (101; 218), (101; 145) e (101; 73).

Tabela 1. Desempenho do controle do robô SCARA para posicionamento.

	Posição Horizontal						Posição Vertical					
	304mm		203mm		101mm		218mm		145mm		73mm	
Amostra	Pulsos	mm/s	Pulsos	mm/s	Pulsos	mm/s	Pulsos	mm/s	Pulsos	mm/s	Pulsos	mm/s
1	12244	62	8084	63	4149	60,8	1078	101	715	101	368	99
2	12245	62	8084	63	4149	60,8	1078	101	717	101	365	100
3	12244	62	8084	63	4149	60,8	1079	101	717	101	365	100
4	12245	62	8084	63	4149	60,8	1079	101	717	101	366	100
5	12244	62	8084	63	4149	60,8	1070	102	714	101	366	100
6	12245	62	8084	63	4149	60,8	1079	101	715	101	366	100
7	12244	62	8084	63	4149	60,8	1071	102	715	101	365	100
8	12245	62	8084	63	4149	60,8	1071	102	715	101	370	99
9	12244	62	8084	63	4149	60,8	1071	102	717	101	366	100
10	12245	62	8084	63	4149	60,8	1071	102	717	101	366	100

Especificamente, as articulações 1 (próxima da garra) e 2 (próxima da base) do braço apresentaram erros de deslocamentos angulares devido ao eixo motor estar diretamente conectado a junta de rotação, sofrendo portanto, ações inerciais. Os erros máximos no posicionamento angular da articulação 1 chegam a 11% e da articulação 2 a 4,74%.

A Tab. 2 apresenta a síntese do desempenho das articulações rotativas a partir de 10 amostras.

Tabela 2. Desempenho do controle do robô SCARA para as articulações rotativas.

Articulação 1		Articulação 2 -	
90 graus	180 graus	90 graus	180 graus
Veloc. Méd. (°/s)		Veloc. Méd. (°/s)	
79,03		34,94	
Desloc. Méd. (graus)		Desloc. Méd. (graus)	
80,07	170,47	88,05	171,34
Graus/pulsos		Graus/pulsos	
0,80	0,85	0,88	0,86

4. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou o desenvolvimento e o controle de posição em arquitetura aberta de um robô manipulador tipo SCARA com cinco graus de liberdade, que compõe uma célula de manufatura voltada para o ensino, realizando a função de armazenador de peças. O dispositivo interage na célula com uma esteira transportadora, manipulando peças entre a esteira e um magazine de armazenamento. Para movimentação dos eixos foram utilizados motores de passo com acionamento em micropasso. O controle foi realizado em malha aberta e programado em Linguagem C/C++ utilizando um sistema embarcado microcontrolado por PIC18F4550.

Os resultados produzidos nesta pesquisa podem ser considerados satisfatórios, em relação à resistência mecânica, aos custos de fabricação e eficácia da interface IHM, onde a máquina apresentou um erro de posicionamento (todos os graus de liberdade) máximo de 1%, e uma velocidade média de 141,9mm/s. Entretanto, será necessária uma atenuação dos efeitos inerciais que provocam erros nas articulações 1 e 2.

5. REFERÊNCIAS

- Barreto, M.N., 2005. “Pesquisa e Desenvolvimento de um Acionamento para Motor de Passo Operando em Baixa Tensão”. Master Thesis in Mechanical Engineering, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, Brazil.
- Battistella, S.; Pieri, R.E. e Stemmer, M.R., 1999. “Position Control of a SCARA Robot Manipulator using Artificial Neural Networks with On-Line Training”. In English IV International Conference on Neural Networks, p. 338-343.
- Bitencourt, A.C.P.; Medeiros, J.A.; Araújo, V.B.H.N. e Aguiar, A.M., 2013. “Development of a Robot SCARA Didactic”. In Journal of the Polytechnic Institute of Bahia, Salvador, p. 10-14.
- Celinski, T.M.; Cerutti, D.M.L.; Celinski, E.G.; Cerutti, A.I. e Ielo, F.G., 2012. “Educational Robotics: a proposal for the reuse of e-waste in a university extension activity”. In IV International Conference of Education, Research and Management, Paraná, Brazil.
- Cocota, J.A.N.; Santos, T.P.; Castro, F.; Barbosa, F.; Machado, G.; Carneiro, M. e Louzada, V., 2014. “Robot Six Low Cost Degrees of Freedom for Trajectory Practices for Peer to Peer”. In COBENGE 2014, Juiz de Fora, Brazil.
- Medeiros Filho, D.A. e Gonçalves, P.C., 2008. “A Low Cost Alternative for the Implementation of Educational Robotics in Engineering Schools”. In XXXVI Brazilian Engineering Education Congress, São Paulo, Brazil.
- Padoin, E., 2011. “Mathematical Modeling the Dynamics of Non-Linearity of clearance in a Rotary Board of a Scara robot with Transmission Gears”. Master Thesis in Mathematical Modeling, Regional University of the Northwest of Rio Grande do Sul, Brazil.
- Padoin, E.; Odair, M. e Valdiero, A.C., 2010. “Mathematical Modeling and Computer Simulation of the Dynamics of a board of SCARA robot with non-linearity of clearance”. In National Applied Mathematics and Computer CNMAC-Congress, Sao Paulo, Brazil.
- Rothe-Neves, M.; Silva, O.F. e Barreiros, J.A.L., 2004. “Methodology for the construction of prototypes for teaching control courses and automation systems”. In Brazilian Congress on Engineering Education, Distrito Federal, Brazil.

Silva, S.R.X; Barreto, L.P. e Lemos, F.H., 2012. "Prototype of a Mobile Robot Interdisciplinary Budget for Educational use a college degree in Mechanical Engineering and Mechatronics". In VII National Congress of Mechanical Engineering, São Luís, Brazil.

Stone, W.L. e Kurfess, T.R., 2005. Automation and Robotics Handbook, New York, Chapter 1, p. 16.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

"Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho".

PROJECT MANUFACTURE ROBOTIZED CELL LOW COST FOR APPLICATION TEACHING

Jônatas Iago Silva, jonatas-iago@hotmail.com¹

Daniel Queiroz Moraes Resende, dqmresende413@gmail.com¹

Rafael Sousa Silva, rafael.s.silva1997@gmail.com¹

Alexander Patrick Chaves de Sena, alexander.sena@caruaru.ifpe.edu.br¹

¹ Federal Institute of Education, Science and Technology Pernambuco – IPE. Estrada para o Alto do Moura Km 3.8, CEP 55040-120, Caruaru, Pernambuco, Brazil.

Abstract. This paper presents the development of a didactic manufacturing cell low cost consists of a robot manipulator SCARA type with five degrees of freedom, a conveyor belt and a storage magazine. The prototype SCARA presents an innovation compared to traditional fixed-base manipulators, changing this structure to develop horizontal linear motion, which will provide a greater extent of the workload, minimizing a current limitation of these machines. The set is driven by stepper motors in microstepping technique interfaced circuit-power drivers, which receive control signals from an embedded system microcontroller for PIC18F4550. The position control system is of the continuous type in open architecture. The cell underwent stage of development and the mechanical system testing, interface circuits, firmware in C programming language, human-machine interface construction and assembly of embedded system, in order to explore all the speed characteristics, flexibility and repeatability. Experimental results on the position control will be presented. This prototype allows the validation of control strategies and the implementation of experimental tests for the realization of planned trajectories within the workspace.

Keywords: SCARA manipulator, Manufacturing Cell, Robotics, Control, Prototype.