



Desenvolvimento de efetuadores para robô manipulador didático

Alexandre Menezes de Aguiar, Justino Medeiros, Andrea Bitencourt

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA. e-mail: alexandreaguiar@ifba.edu.br, justino@ifba.edu.br, andreabitencourt@ifba.edu.br.

Resumo: Este artigo descreve o desenvolvimento do projeto do sistema mecânico, elétrico e de controle de uma garra eletromagnética e uma garra mecânica de dois dedos para robô manipulador, com fins didáticos, assim como um trocador automático para estes efetuadores. Seu controle é realizado por uma plataforma microprocessada e *open-source*, o Arduino Duemilanove. É parte integrante do projeto de desenvolvimento de uma célula de manufatura didática, destinada a qualificação dos estudantes de automação em robótica e áreas relacionadas, tais como programação e eletrônica, a partir de sua aplicação nas aulas técnicas do Instituto Federal da Bahia.

Palavras-chave: Arduino, Trocador automático, Efetuador, Didático, *Open-source*

1. INTRODUÇÃO

Desde a primeira utilização comercial de um robô industrial na década de 60, quando este descarregou uma máquina de fundição, como descrito em Black (1985), o campo da robótica vem se expandindo e inovando para atender as necessidades do mercado, aumentando a sua capacidade, miniaturizando componentes e estruturas (Angelo, 2007), e assim tornando-os mais acessíveis para os mais diversos setores.

As vantagens obtidas com a utilização de robôs, tais como a exclusão do papel do homem em atividades perigosas ou repetitivas, foram essenciais para que o setor de serviços mostrasse interesse em sua utilização. Estatísticas recentes, disponibilizadas por IFR (2011), mostram um crescimento considerável na utilização de robôs de serviço, principalmente robôs de defesa e de campo, mas não excluindo a importante aplicação na medicina, resgate, aplicações submarinas, inspeção e construção.

Contudo, o grande setor que faz uso de sistemas robóticos continua sendo o industrial, destacando-se a indústria automotiva, que vendeu 70% a mais no ano de 2010 em comparação a 2009, e a indústria elétrico-eletrônica que praticamente triplicaram sua compra de robôs industriais neste mesmo período (IFR, 2011).

Parte do crescimento previsto no campo da robótica para os próximos anos se deve ao processo de diversificação das indústrias, que começam a flexibilizar a sua produção. Os robôs industriais presentes nos sistemas flexíveis de manufatura utilizam trocadores automáticos de efetuadores, permitindo assim, reduzir o tempo de manufatura e o custo por unidade, aumentando a eficiência de energia consumida por carga suportada, produtividade e a qualidade dos produtos manufaturados, além da capacidade de produzir variadas peças utilizando o mesmo equipamento.

Visto este cenário de expansão na robótica, mostra-se indispensável o desenvolvimento de estratégias para o ensino da robótica em cursos técnicos profissionalizantes, para assim atender as necessidades deste crescente mercado, assim como para a qualificação no Ensino Fundamental, Médio e Superior, por mostrar-se uma eficiente abordagem de ensino como apresentado em Balch (2008) e Wasserman (2002).

Este trabalho é dividido em quatro seções: Robótica industrial, onde serão apresentados os conceitos e princípios necessários para a compreensão do trabalho, Efetuadores e Trocadores, que relatará os materiais e métodos adotados, análise e interpretação de dados, que apresentará os resultados e os dados dos testes realizados, e por fim a conclusão, onde serão apresentadas as considerações finais e as pretensões para projetos futuros.

2. Robótica industrial

O vertiginoso avanço obtido no campo da robótica levou ao desenvolvimento de robôs móveis, capazes de tomar decisões de acordo com os dados que recebem do ambiente em que se



encontram e mover-se de acordo com a interpretação destes dados. Esta autonomia aumentou consideravelmente o campo de aplicações dos robôs (Pereira, 2003), principalmente no setor de serviços, mas os robôs de base fixa, sem mobilidade, se mantêm como o tipo de robô mais utilizado, devido às suas aplicações industriais.

De acordo com Ashfal (1991) os principais componentes de um robô industrial são: o braço robótico, o sistema de controle, a interface de operação e o efetuador integrado ao braço robótico.

O manipulador ou braço robótico é a estrutura responsável por posicionar, mover o efetuador para a posição adequada à sua utilização. Estes, geralmente, possuem três graus de liberdade e são classificados por sua estrutura mecânica, seu número de eixos de deslocamento e tipos de junta, por acordo feito entre empresas fornecedoras de robôs (IFR, 2005), classificação semelhante à por configuração física dos robôs proposta por Groover (1988). Desta forma, estes são classificados em:

- Robôs cartesianos
- Robôs articulados
- Robôs paralelos
- Robôs cilíndricos
- SCARA

O robô cartesiano possui um braço robótico com três juntas prismáticas, cujos eixos coincidem com o sistema cartesiano, e sua área de trabalho forma um hexaedro. O robô articulado é composto por um braço robótico que possui pelo menos três juntas rotacionais. Por sua configuração ser semelhante a um braço humano e permitir mais movimentos dentro de um volume limitado, esta é a configuração mais utilizado em ambientes industriais.

Robôs de configuração paralela possuem juntas rotacionais ou prismáticas concorrentes, de forma que possuem um volume de trabalho reduzido em comparação à outras configurações, mas uma alta de velocidade. O robô cilíndrico tem seus eixos do braço formando um sistema de coordenada cilíndrico, assim possuindo uma junta prismática na base, onde se apoia uma junta rotacional e conectada a esta outra junta prismática.

O SCARA (*Selective Compliant Assembly Robot Arm*) é um modelo especial de robô para montagens que possui as duas juntas mais próximas à base rotacionais e uma junta prismática, assim possuindo um volume de trabalho cilíndrico. Por possuir alta precisão e repetibilidade é bastante utilizado para montagens mecânicas ou eletrônicas.

A interação entre o homem e o robô industrial é feita através de uma interface de operação, que pode ser um terminal computadorizado, um celular ou um painel de controle, onde o operador acessa as informações referentes ao robô e atua sobre este se necessário, acessando o sistema de controle do robô.

Por sua vez, o sistema de controle de um robô industrial pode ser composto por um controlador lógico programável, um terminal computadorizado ou uma plataforma microprocessada. Para definir a movimentação a ser realizada pelo robô, o sistema de controle envia sinais de acionamento para os atuadores do braço robótico e do efetuador, a partir dos dados de entrada, controlando adequadamente os movimentos realizados por estes.

Como declarado em Santos (2001), o controle de um robô industrial pode ser do tipo:

- Sequencia fixa
- Repetição com controle ponto-a-ponto
- Repetição com trajetória continua
- Inteligente

O controle por sequencia fixa, considerado o mais baixo nível de controle, utiliza chaves mecânicas para determinar os limites de movimento realizado pelo robô e não possui métodos de controle eficazes para determinar se o braço atingiu a posição desejada.



O controle por repetição, que realiza a gravação dos movimentos a serem realizados pelo robô em sua memória e possuem um sistema de realimentação negativa para garantir o correto posicionamento do robô, e é dividido em ponto-a-ponto e trajetória contínua.

Se este for por controle ponto-a-ponto, o operador não poderá realizar um controle instantâneo de seus movimentos, apenas através da programação embarcada neste. E, se o robô estiver utilizando um controle com trajetória contínua, é apenas necessário determinar as coordenadas de partida e início do robô, pois este realizará os cálculos necessários para este percorrer a trajetória desejada, realizando um movimento contínuo.

Os robôs inteligentes são capazes de interagir de modo considerado inteligente, realizando a comunicação com máquinas e humanos, podendo recalcular a sua trajetória através dos dados obtidos pelo sistema de sensoriamento.

3. Efetuadores e trocadores

O efetuador, também conhecido como órgão terminal (Groover, 1988), é a ferramenta que permite a interação dos robôs com o ambiente em que este se encontra (Tanie, 1985). Estes podem ser classificados de acordo com a sua função: se esta for pegar e segurar objetos para que este seja deslocado é uma garra mecânica, como apresentado por Pazos (2002). Se este for projetado para modificar um objeto, não precisando necessariamente transportá-lo, é classificado como uma ferramenta especializada.

As ferramentas mais comuns utilizadas por robôs industriais são a pistola de pintura a spray, pistolas de soldagem a arco e por pontos e pistola de corte, como apresentado por Rosário (2005), e algumas das principais garras utilizadas na indústria são:

- Garra de dois/três dedos

Este tipo de garra tem o funcionamento semelhante ao realizado por uma mão para agarrar um objeto. O fechamento/abertura dos dedos pode ser feito de forma linear, com os dedos se mantendo paralelos, ou angular. As garras lineares possuem a capacidade de segurar objetos de tamanhos variados, enquanto as garras angular tem um tamanho suportado específico, devido ao ângulo formado entre a garra e o objeto.

Existem diversos modelos de garra, que utilizam engrenagens e cremalheira, molas, parafusos sem fim ou pistões para realizar o seu movimento de fechamento/abertura, e, dependendo de sua aplicação e modelo é necessário utilizar sensores de força e posicionamento para realizar o seu controle.

- Garra à vácuo

As garras à vácuo utilizam ventosas ou copos de sucção, ligados a uma bomba de vácuo, para aderir a superfície da peça que se deseja transportar. Sua principal vantagem é a capacidade de transportar objetos de materiais diversos a partir de apenas uma superfície, mas este tipo de garra possui várias limitações: o objeto deve ter uma superfície plana, lisa, sem orifícios e deve ser maior que as ventosas, o que impede o transporte de objetos pequenos ou irregulares e o peso máximo suportado por este depende da bomba de vácuo utilizada.

- Garra magnética

As garras magnéticas podem utilizar eletroímãs ou ímãs permanentes para transportar materiais ferromagnéticos e seu design geralmente assemelha-se as garras à vácuo. As garras que utilizam eletroímãs têm o acionamento puramente elétrico e as de ímãs permanentes afastam/aproximam este para variar a posição do campo magnético deste e assim soltar ou segurar a peça.

A garra magnética possui muitas vantagens, dentre elas, suportar grandes variações de carga, chegando à ordem de toneladas. Contudo, esse tipo de garra só tem aplicação para objetos de materiais ferromagnético.



A força do campo, intensidade de campo magnético (H), gerado pela garra que utiliza eletroímãs segue o princípio da lei de Ampere (Eq. 01), que relaciona a corrente elétrica que passa por um condutor ao campo magnético gerado por este.

$$\oint_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \iint_S \mathbf{J}_f \cdot d\mathbf{S} \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde:

\mathbf{H} - Intensidade de campo magnético (A/m);

$d\mathbf{l}$ - elemento infinitesimal da curva fechada C ;

\mathbf{J}_f - é a densidade de corrente através da superfície S englobada pelo contorno C (A/m²);

$d\mathbf{S}$ - vetor referente a unidade de área S ;

\oint_C - integral de linha da curva fechada C ;

\iint_S - Dupla integral de superfície S contida na curva C ;

- Garra para objetos cilíndricos

A garra para objetos cilíndricos possui dedos chanfrados de variados diâmetros para, desta forma, poder transportar objetos cilíndricos de vários tamanhos, contudo seu movimento é limitado e geralmente é pesada (Santos, 2001).

- Garra articulada

Essa garra possui pequenas articulações, similar à mão humana, que permitem que este tenha seu formato moldado a partir do objeto que pretende transportar, esse design garante a capacidade de segurar objetos irregulares e de tamanhos variados.

A necessidade de flexibilizar o sistema de produção, utilizando mais de um efetuator (garra ou ferramenta) durante uma operação, levou à criação de *Tool-changers*, adaptadores automatizados de efetutores, utilizados principalmente por robôs com controle numérico computadorizado (CNC), que permitem a substituição do efetuator em uso pelo robô, sem a intervenção humana.

Contudo, apesar da flexibilização obtida com o uso de trocadores, é importante considerar aspectos específicos ao utiliza-los, como o tempo gasto para a substituição dos efetutores, o peso do trocador utilizado e o preço gasto em sua instalação.

Após a análise dos modelos de efetutores mais utilizados por robôs industriais, decidiu-se desenvolver uma garra eletromagnética e uma garra de dois dedos de movimento paralelo, além de um trocador automático para estes efetutores.

3.1 Aspectos construtivos dos protótipos

É importante salientar a utilização de uma plataforma microprocessada para a realização do controle dos efetutores e trocador desenvolvidos, o Arduino. Este é uma plataforma que utiliza microcontroladores Atmel AVR, baseada em hardware e software livre, de baixo custo e interface amigável. Existem diversos modelos oficiais do Arduino, tais como, o Uno, Mega 2560, Fio, Pro, Nano, Ethernet e o Duemilanove.

O Arduino utilizado foi o Duemilanove, versão baseada no Atmega328, que possui 14 pinos de entrada/saída digitais, 6 entradas analógica, 32KB de memória flash destinada para o armazenamento de código, 2KB de SRAM e 1KB de EEPROM. Um dos motivos que levaram à escolha do Arduino para compor o sistema de controle são suas saídas digitais capazes de enviar pulsos PWM (*Pulse-Width Modulation*) de 5V DC, o que o torna extremamente eficaz para o controle de servomotores. A figura 01 apresenta a placa do Arduino Duemilanove.

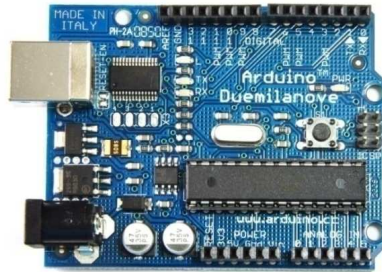


Figura 01 - Arduino Duemilanove

Os projetos dos sistemas mecânico, elétrico e de controle dos efetadores e do trocador foram desenvolvidos paralelamente:

- Sistema mecânico

Os efetadores e o trocador foram dimensionados a partir do robô manipulador desenvolvido no Instituto Federal da Bahia, em ambiente virtual, através do software de desenho assistido por computador 3D, *Solidworks*. Após serem desenhados, os protótipos foram montados para a realização de testes. O braço robótico utilizado como modelo é apresentado na figura 02.



Figura 02 - Robô projetado

No princípio, foi construída uma garra eletromagnética que não possuía a estrutura para ser integrado ao trocador (Aguiar, 2011), composta de um eletroímã com núcleo em forma U, conectado diretamente ao servomotor do elo do braço robótico. Através dos testes realizados, percebeu-se a necessidade de aumentar a área de contato do eletroímã, para assim aumentar a sua capacidade e estabilidade de transporte.

- Sistema elétrico

O sistema elétrico, composto pelos circuitos de acionamento da garra eletromagnética e de alimentação do Arduino, foi projetado a partir das especificações do Arduino Duemilanove, ou seja, tensão de operação igual a +5V e tensão de alimentação de +7 à +12V (*Arduino Home Page*, 2012).

Para o protótipo da garra eletromagnética, produziu-se um circuito para realizar o acionamento do eletroímã através de sinais enviados pelo sistema de controle, utilizando o software *Proteus*, que em seguida teve de ser adaptado para a integração com o trocador de ferramentas.

- Sistema de controle

Para o sistema de controle, realizado pela plataforma microcontrolada do Arduino Duemilanove, foram desenvolvidas algoritmos de controle ponto-a-ponto, através do ambiente de programação próprio do Arduino, baseado na linguagem de programação C.

Vários testes foram realizados para alcançar a integração entre os circuitos produzidos e o controle dos servomotores utilizados, destacando-se o uso da biblioteca *servo.h*, que permitiu aumentar a precisão do controle de posição e velocidade dos servomotores.

4. RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos do desenvolvimento do projeto da garra eletromagnética, garra de dois dedos e do trocador automático.

A garra eletromagnética construída possui um grau de liberdade, advinda da junta rotacional do trocador automático e permitindo que este rotacione em até 180° , é composta por quatro eletroímãs dispostos em uma matriz 2x2, seu circuito de acionamento, duas molas, uma peça de madeira e um invólucro de acrílico. A figura 03 apresenta o projeto da garra desenvolvida.



Figura 03 - Projeto da garra eletromagnética

O circuito desenvolvido para acionar o eletroímã do efetador é apresentado na figura 04. O acionamento do circuito se dá quando o Arduino envia um sinal DC de +5V, responsável por chavear o relé e assim fechar o circuito que alimenta o eletroímã. O layout do circuito do efetador apresentado na figura 04a, produzido com o software *Proteus*, é ilustrado na figura 4b.

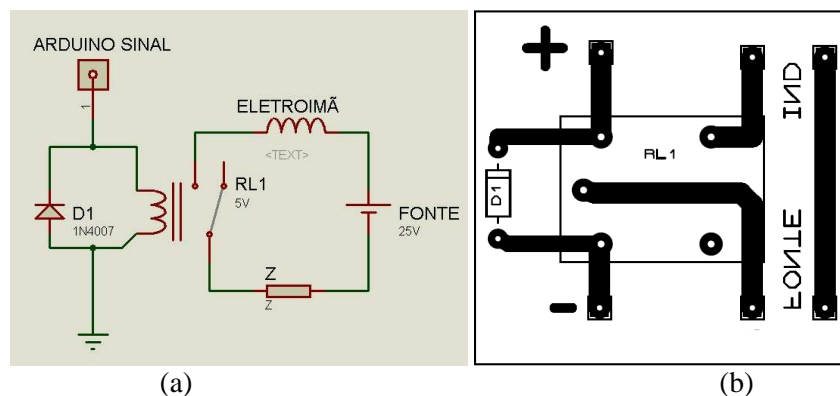


Figura 04 – (a) Circuito de acionamento da garra (b) *Layout* do circuito

A garra de dois dedos possui três graus de liberdade, somando com o do trocador, seu formato garante que suas articulações se mantenham sempre paralelas, permitindo que objetos de tamanhos variados possam ser agarrados, e é composta por servomotores, duas engrenagens, e estruturas de alumínio, acrílico, quatro molas e uma peça de madeira.

Esta garra possui abertura máxima de 120mm e possui em suas extremidades chaves de fim de curso, utilizadas para determinar quando um objeto foi preso pela garra, comparando os sinais enviados por estes. A figura 05 apresenta a garra projetada.

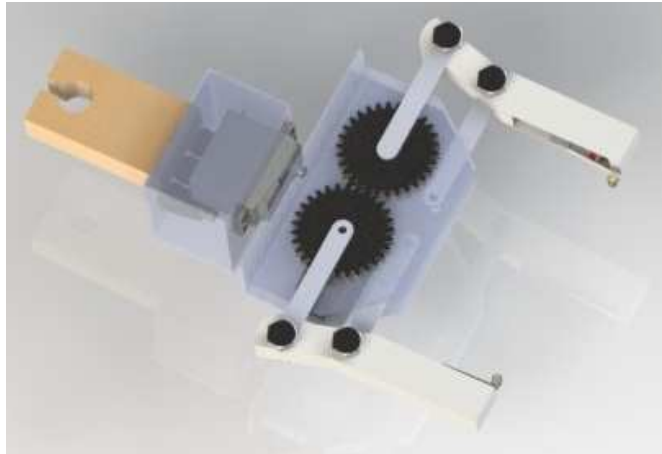


Figura 05 – Projeto da garra mecânica

O trocador automático desenvolvido é composto por um servomotor, responsável por adicionar um grau de liberdade às garras, quatro molas, duas engrenagens, uma peça oca de aço carbono, um motor DC, um sistema porca-parafuso, uma placa de cobre e uma estrutura de acrílico que guarda em seu interior esses componentes.

O trocador automático de ferramentas permite o controle de efetadores que utilizem até três servomotores, e possui conexões elétricas extras para caso seja necessário alimentar algum componente presente nos efetadores, como um eletroímã no caso da garra eletromagnética ou uma ferramenta específica. Estas conexões são realizadas com o contato entre a placa de cobre do trocador e as molas dos efetadores.

Para realizar o acoplamento do efetador no trocador, a peça de madeira do efetador se une à peça oca de aço do trocador, e o motor DC é acionado, transmitindo movimento do parafuso para a porca, que atravessa as pelas de madeira e aço, travando, assim o trocador e o efetador fisicamente. E, a conexão elétrica entre as estruturas é feita ao ser feito contato entre as molas do efetador e a placa de cobre do trocador. A figura 06 mostra o trocador projetado.

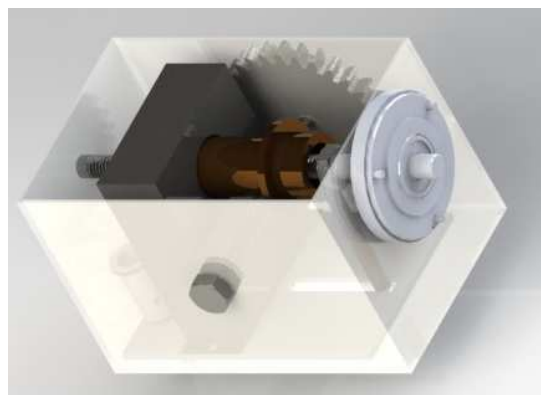


Figura 6 - Projeto do trocador

O código embarcado no Arduino para realizar o acoplamento de uma das garras, transportar um objeto, e substituir esta por outra garra desenvolvida, tem seu fluxograma apresentado na figura 07.

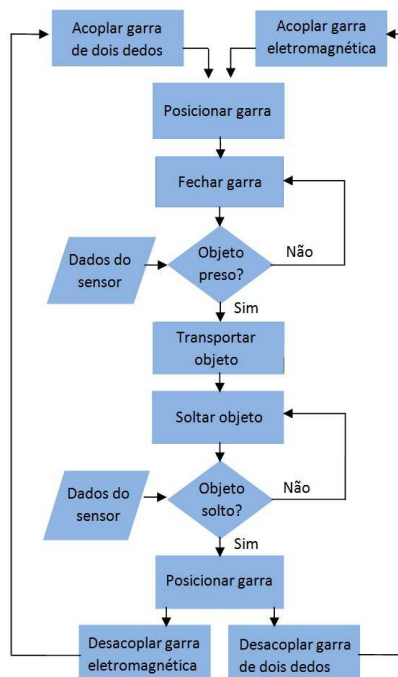


Figura 7 - Fluxograma da programação embarcada no Arduino

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho abordou-se o desenvolvimento do projeto de efetadores, uma garra eletromagnética e uma garra de dois dedos, assim como um trocador automático de efetador para um robô manipulador didático de juntas rotacionais.

Como continuação deste trabalho é previsto a montagem física dos efetadores e trocador automático, testes de compatibilidade entre os efetadores e o trocador, a instalação de sensores de presença e força, com o objetivo de aumentar a precisão dos protótipos, a implementação de um controle via joystick, e a integração a célula de manufatura didática.

REFERÊNCIAS

- Aguiar, A. M. (2011). **Desenvolvimento e construção de efetador eletromagnético para robô manipulador com juntas rotacionais**, VI CONNEPI.
- Angelo, J. A. (2007). **Robotics: A Reference Guide to the New Technology**, Greenwood Press
- Arduino, disponível em <http://www.arduino.cc/>, acesso 09 de julho de 2012.
- Asfahl, C. R. (1991). **Robots and Manufacturing Automation**, John Wiley & Sons.
- Balch, T. e. a. (2008). **Designing personal robots for education: Hardware, software, and curriculum**, IEEE Pervasive Computing
- Black, J. T. (1985). **Handbook of industrial robotics**, John Wiley & Sons, chapter 42, p. 831.
- Groover (1988). **Robótica: tecnologia e programação**. McGraw-Hill.
- IFR (2011). **Executive summary of world robotics 2011 industrial robots**, Online.
- IFR (2005). **World Robotics: Statistics, Market Analysis, Case Studies And Profitability of Robot Investment**, United Nations Publications.
- Pazos, F. (2002). **Efetadores**, Mecatrônica atual.
- Pereira, J. (2003). **Avaliação e correção do modelo cinemático de robôs m oveis visando a redução de erros no seguimento de trajetórias**, Master's thesis, UESC.
- Rosário, J. M. (2005). **Princípios de Mecatrônica**, PEARSON BRASIL.
- Santos, W. E. (2001). **Introdução à robótica**, Online. Especialização.
- Tanie, K. (1985). **Robot Hands and End-Effector**, John Wiley and Sons, chapter 7.
- Wasserman, E. (2002). **Why industry giants are playing with legos**, Fortune 144(10): 101-106.