

VISÃO COMPUTACIONAL APLICADA EM UM BRAÇO ROBÓTICO ANTROPOMÓRFICO DIDÁTICO

BECKER, Djely Tamara¹

RESUMO

A Robótica é uma área que se encontra em ascensão, a atual demanda econômica requer linhas de produção cada vez mais eficientes com elevada percepção sensorial, certamente um dos principais e mais completos sentidos é a visão, pela riqueza de informação que uma imagem pode conter. Neste contexto, a visão computacional se torna uma ferramenta chave na área da robótica, todas as tomadas de decisão do manipulador são baseadas nos detalhes das imagens. O presente trabalho trata da implementação de um sistema de controle de trajetória de um braço robótico orientado por visão computacional. A aquisição da imagem ocorre através de uma *webcam* comum, o objetivo é coletar a mesma e identificar o objeto desejado pelo usuário, com base nestas informações o manipulador é orientado até a peça. Para tanto, os dados da imagem são processados e enviados ao manipulador através da ferramenta de computação Matlab®.

PALAVRAS-CHAVE: Robótica, Visão computacional, Matlab®

COMPUTER VISION APPLIED IN A ROBOTIC ARM ANTHROPOMORPHIC TEACHING

ABSTRACT

Robotics is an area in ascension, the actual economic demanding requires more efficient production lines with highly sensorial perception, vision is certainly one of the most principal and complete sense, because of the richness of information that an image can hold. On this context, computational vision becomes a key source in robotics, all the decisions of the manipulator are based on image details. The present research project is about the implementation of a control system of trajectory for a robotic arm oriented by computational sight. The acquisition of image occurs through a regular webcam, the objective is to collect an image and identify the object desired by the user, based on these informations the manipulator is oriented to grab the piece. For this, the image data are processed and send to the manipulator using the software Matlab®.

KEYWORDS: Robotics, Computational Vision, Matlab®.

1. INTRODUÇÃO

O progresso da robótica em segmentos industriais foi justificado principalmente pela agilidade e confiabilidade em processos produtivos. Segundo dados da IFR (*International Federation of Robotics* – Federação Internacional de Robótica), o aumento de vendas de robôs em 2011 em relação aos outros anos foi de 38%, sendo vendidas 166.028 unidades em todo o mundo, principalmente na indústria automobilística e metalúrgica. Se configurado corretamente, um robô é capaz de realizar com grande precisão tarefas que envolvem confiabilidade, repetição e alta periculosidade e por se tratar de um manipulador reprogramável a necessidade de dispositivos que forneçam percepção sensorial fica evidente. Neste contexto, a riqueza de informações que uma

¹ Engenheira de Controle e Automação. Cursando MBA em Gerenciamento de Projetos, FGV/Cascavel/PR. E-mail: djelybecker@gmail.com.

imagem pode conter torna a visão um dos mais complexos e importantes sentidos, permitindo que um manipulador ganhe percepção sensorial de forma ampla.

As aplicações que envolvem o uso de imagens estão presentes em vários cenários, como: ambientes industriais, sistemas de segurança para transporte, tecnologia médica, entre outros. Desta maneira, a integração de um sistema de visão computacional através de mecanismos robóticos resulta em linhas de produção mais eficientes e velozes.

Uma definição apropriada para a técnica de visão artificial ou visão computacional, é que pode ser classificada como a ação de um determinado atuador em função de imagens coletadas em tempo real e devidamente processadas. A implantação desse tipo de sistema requer estudo e aplicação de técnicas que abrangem desde a estrutura do local, principalmente no que se refere à iluminação, aquisição e processamento de imagens, até o controle do atuador final.

Segundo a VDMA (*Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau*), os continentes Americano e Asiático em 2011 apresentaram um aumento significativo nos negócios de visão computacional em relação à Alemanha e o continente Europeu, que são as maiores potências neste segmento atualmente.

Mesmo com aumento de produtividade e com uma gama maior de produtos industrializados, é comum ver pessoas em indústrias realizando tarefas de diversos tipos, como é o caso da inspeção industrial (STIVANELLO, 2004). A visão humana tem alta capacidade de adaptação ao meio e facilidade de interação em ambientes não estruturados, reagindo rapidamente às variações do ambiente. Porém, os humanos possuem limitações físicas e psicológicas, como por exemplo, fadiga e falta de atenção, além dos riscos elevados que alguns processos podem causar às vidas humanas. Enquanto sistemas de visão computacional avaliam múltiplas características em alta velocidade e podem ser inseridos em ambientes de risco, necessitando apenas de um ambiente com condições controladas (STIVANELLO, 2004).

Outro grande desafio enfrentado em ambientes industriais é a quantidade de sensores utilizados para um único processo. O uso de vários sensores para o posicionamento correto do produto acaba gerando uma quantidade elevada de variáveis a serem analisadas.

2 METODOLOGIA

A metodologia proposta consiste em um sistema capaz de capturar imagens com o uso de uma webcam comum instalada em um ambiente estruturado, as informações destas são processadas em tempo real de maneira que seja possível extrair as informações pertinentes ao objeto. Baseado

nessas informações fazer a integração do sistema da imagem com o controle de trajetória de um manipulador robótico antropomórfico didático com três graus de liberdade. Para tanto, serão utilizadas ferramentas incorporadas ao ambiente de computação Matlab®, que auxiliarão no desenvolvimento da estrutura do processamento de imagens, de maneira a identificar objetos de cor azul ou vermelha e no cálculo da cinemática inversa, que irá guiar o manipulador robótico até a peça.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 ESTRUTURA DO BRAÇO ROBÓTICO

O manipulador robótico possui uma estrutura com três eixos, o deslocamento de cada um destes é realizado por motores de passo e sua referência de posição é dada por potenciômetros. Através do cálculo de momento, de acordo com as forças exercidas nas extremidades do braço, foi calculado o torque necessário dos motores que ficariam acoplados ao ombro e ao cotovelo do mesmo (BELINI, 2012). O torque necessário para o motor acoplado ao ombro foi elevado, pois o mesmo precisa exercer força suficiente para suportar os dois eixos (ombro e cotovelo), necessitando de um torque de 6.606 N/m, enquanto o cotovelo de 1.314 N/m. Para o cotovelo foi adquirido um motor de passo que suporta até 30 Kg.cm, ou 2.94 N/m, o suficiente para trabalhar com a primeira parte do braço. Enquanto para o motor do ombro que possui um torque de 6,606 N/m, foi adquirido um motor reduzido, devido ao tamanho e custo. Este fornece 40 Kg.cm ou 3.922 N/m, podendo operar em pequenos intervalos até 60 Kg.cm ou 6 N/m.

Foram utilizados potenciômetros comuns lineares com resistência de 10KΩ para posicionamento dos motores, estes foram montados em chapa de alumínio e fixados a estrutura de cada eixo.

A placa que controla os motores do braço robótico é da marca Toshiba® e modelo TB6560AHQ, responsável por fazer o acionamento dos três motores de forma simultânea via porta paralela do computador. Atualmente o controle de acionamento, direção e movimento dos motores estão sendo feitos por este drive e o Matlab®.

A referência obtida pelo potenciômetro resultará no posicionamento do motor, desta forma é preciso estabelecer uma condição que receba a leitura da posição do potenciômetro e envie a posição desejada.

3.2 ACIONAMENTO DA BOBINA

Como a estrutura atual do braço robótico não possui efetuador final foi necessário colocar uma bobina na extremidade do cotovelo a fim de imantar a peça que já foi construída com uma chapa de ferro na parte superior.

A bobina utilizada possui 700 voltas de enrolamento e a corrente que esta suportada é de aproximadamente 3^a (LENZ, 2012). Desta forma foi elaborado um circuito de acionamento, onde foi utilizado um TIP 120, um resistor de 1KΩ, um diodo roda livre e uma fonte de alimentação 5V/2,5A.

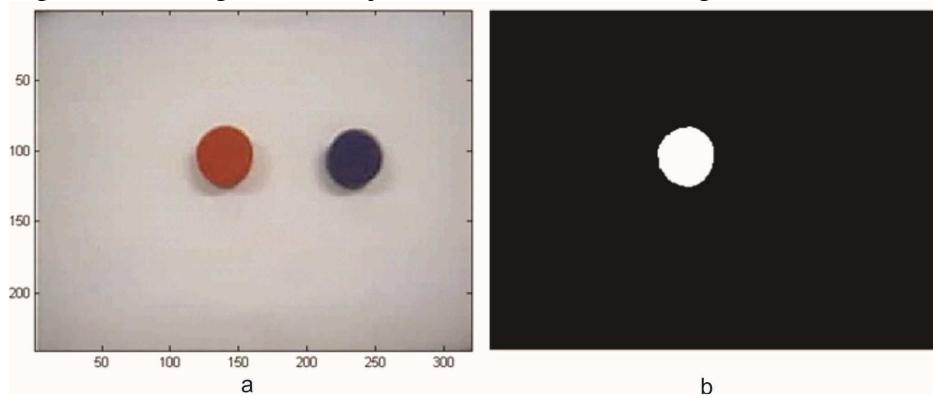
3.3 PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Para a aquisição e processamento de imagens, o sistema captura uma foto e faz a sua detecção de limiares. A técnica de limiarização é responsável por agrupar diferentes objetos e regiões da imagem conforme a similaridade de tonalidades entre os mesmos (MENESES, 2012). Através de uma amostra de imagem de cor vermelha e outra de cor azul, foi identificada a intensidade luminosa (níveis de cinza) de cada elemento RGB por meio do comando *Imtool* da *toolbox Image Processing* do Matlab[®] (CORKE, 2011), então foi elaborado um range de valores para intensidade luminosa de cada cor e através da varredura de linhas e colunas da matriz que compõe a imagem capturada foi identificado o exato local do objeto desejado. Os comandos utilizados para realizar este procedimento são os mesmos para ambas as cores, exceto pelo range de valores, que foi encontrado através da intensidade luminosa de cada cor.

Com o comando *graythresh* seguido de *im2bw*, da *toolbox Image Processing* do Matlab[®] é realizada a detecção de limiares da imagem (CORKE, 2011). Quando encontrados valores de interesse na imagem capturada, que são definidos pela intensidade luminosa de cada componente RGB, estes são preenchidos com número “1” e o restante da imagem com o número “0”, branco e preto respectivamente.

A imagem no modelo RGB é apresentada na Figura 01 a, enquanto b apresenta o resultado obtido pela rotina que faz a detecção de limiares da imagem, transformando esta em binarizada.

Figura 01 – Imagem dos objetos de interesse. (a) Imagem no formato RGB. (b) Imagem binarizada



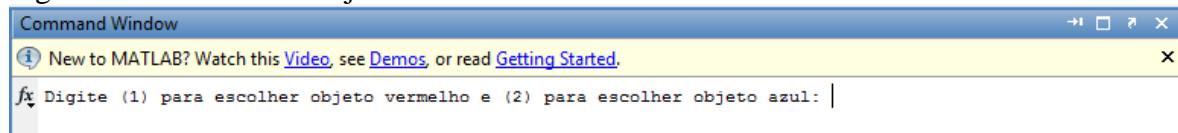
Fonte: Acervo do Autor

Com o objeto de interesse identificado do restante da imagem, o próximo passo é encontrar o seu centro geométrico. Para tanto, foi realizado o preenchimento de buracos na imagem binária, através do comando *imfill* do Matlab®. O centroide do objeto foi encontrado através do comando *regionprops*, que é responsável por encontrar diversas propriedades de uma imagem, tais como: área, perímetro, centroide, orientação, entre outros. Neste trabalho foi utilizada somente a propriedade que identifica o centroide (Centroid, 1-por-Q vector), descrito por dois elementos, coordenada horizontal (x) e a coordenada vertical (y) do centroide.

3.4 ESCOLHA DO OBJETO

A escolha do objeto foi feita via teclado, o usuário deve pressionar (1) para escolher o objeto vermelho e (2) para escolher o objeto azul, conforme ilustra a Figura 02.

Figura 02 – Escolha do objeto via teclado



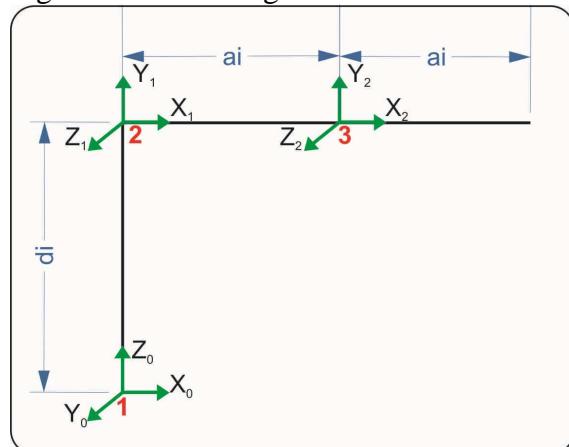
Fonte: Dados da pesquisa.

3.5 MODELAGEM CINEMÁTICA

A evolução no tempo das coordenadas das juntas de um robô representa o modelo cinemático de um sistema articulado no espaço tridimensional. Para facilitar a definição dos

parâmetros associados a cada elo, ou também chamado de *link*, o primeiro passo é definir os sistemas de coordenadas para cada um destes (CORKE, 2011). A Figura 03 apresenta os sistemas de coordenadas referentes a cada junta de 1 a 3.

Figura 03 – Modelagem Cinemática Robô de três graus de liberdade



Fonte: Dados da pesquisa.

A simulação da trajetória de movimentos do braço robótico é realizada através da *Toolbox Robotics* do Matlab®. Considerando estes sistemas de coordenadas de acordo com a análise de posicionamento e seguindo o algoritmo proposto por Denavit-Hartenberg obtêm-se os parâmetros cinemáticos para cada *link*, como ilustrado na Tabela 01.

Tabela 01 – Parâmetros de Denavit-Hartenberg

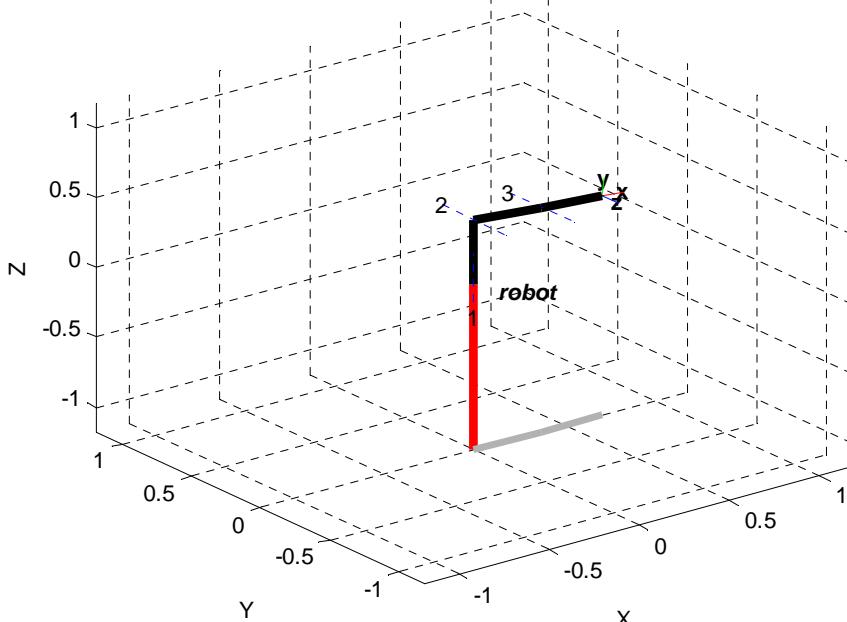
| | THETA | DI | AI | ALPHA | R/P | Nome |
|-------|-------|------|-------|-------|-----|--------------|
| LINK1 | 0 | 0.47 | 0 | pi/2 | 0 | BASE |
| LINK2 | 0 | 0 | 0.375 | 0 | 0 | OMBRO |
| LINK3 | 0 | 0 | 0.300 | 0 | 0 | COTOVEL O |

Fonte: Dados da Pesquisa

A rotina que permite obter a posição do objeto desejado no espaço é apresentada na Figura 04. O comando *ikine* da *toolbox Robotics* fornece a posição dentro do volume de trabalho para cada *link* do braço robótico, com base nas informações das coordenadas X, Y e Z fornecidas em unidade métrica (CORKE, 2011).

A função “SerialLink” cria o robô com base nos parâmetros definidos para cada *link*. Para criar a matriz de transformação homogênea (cinemática direta), foi utilizada a função “Transl”, enquanto a cinemática inversa foi definida pela função “R.ikine” com base nos parâmetros da cinemática direta (CORKE, 2011). O modelo robô é plotado no espaço pelo comando “R.plot” (Figura 04).

Figura 04 – Modelo robô plotado no espaço

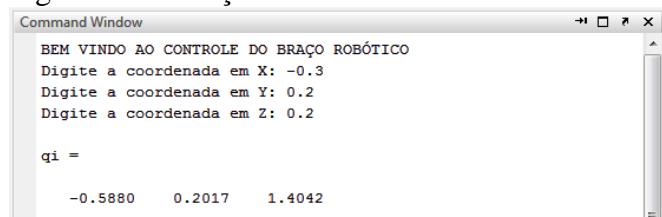


Fonte: Dados da Pesquisa.

3.6 CONVERSÃO VALORES DE POTENCIÔMETRO

Ao simular a cinemática inversa são retornados valores em radianos da posição que cada *link* deve assumir no espaço, representados pela variável “qi”, sendo -0.5880 a posição para base, 0.2017 posição para o ombro e 1.4042 do cotovelo. O robô físico deve assumir as distâncias correspondentes ao solicitado nas coordenadas X, Y e Z. Os valores devem ser fornecidos em metros (Figura 05).

Figura 05 – Posição dos *links* em radianos



Fonte: Dados da Pesquisa

Como a referência para posicionamento do robô é fornecida pelos valores dos potenciômetros em cada *link*, se faz necessário fazer a conversão de radianos recebidos pelo comando *Ikine* para graus e em seguida para valor adequado no potenciômetro. A conversão de radianos para graus estabelece a relação de regra de três, sendo a equação 3.1 realizada para os três *links* com seus valores respectivos.

$$convradgrX = \left(\frac{kx * 180}{\pi} \right) \quad 3.1$$

Onde:

kx = Valor recebido do comando *Ikine* em radiano;

$180/\pi$ = Relação de conversão de radianos para graus;

$convradgrX$ = Recebe o valor da conversão em graus.

Para realizar a conversão de graus para os valores de potenciômetro, foi necessário realizar leituras nos três potenciômetros, resgatando o valor em 0° e 90° , para que possa ser feita uma relação de graus e um determinado valor de potenciômetro, por exemplo, se a leitura realizada em 0° for de 700 em valor de potenciômetro e a leitura realizada em 90° for de 378 também em valor de potenciômetro, então a diferença entre estes que foi de 322 fornece o parâmetro de conversão de graus pra valores de potenciômetros, conforme indicado na Equação 3.2.

$$convgrpotX = \left(\frac{convradgrX * 322}{90} \right) \quad 3.2$$

Onde:

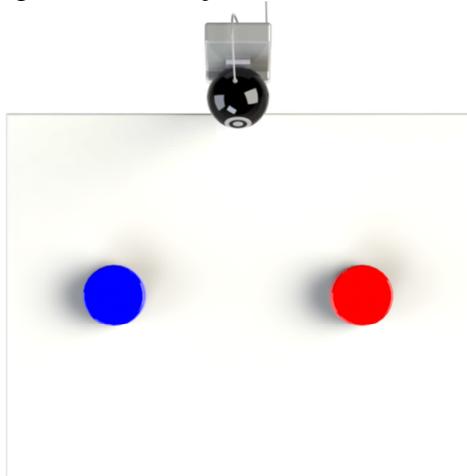
$convradgrX$ = Recebe o valor da conversão em graus;

$322/90$ = Relação para transformar graus em valores de potenciômetro;

$convgrpotX$ = Recebe o valor da conversão em valores de potenciômetros.

3.7 LOCALIZAÇÃO OBJETO

Com o objeto identificado do restante da imagem e com a referência do centroide é possível fornecer parâmetros para identificação da peça em relação à base do braço robótico. O primeiro passo é fixar a câmera em direção ao volume de trabalho do robô, a Figura 06 apresenta o ponto em que a *webcam* está alocada. Ao fixar a câmera neste ponto é realizada a captura de uma foto a fim de fazer a relação de *pixels* por unidade métrica.

Figura 06 – Posição da câmera (*Webcam*)

Fonte: Dados da Pesquisa

A *webcam* utilizada possui uma resolução de 240 x 320 *pixels*. Do ponto fixo da câmera para esta resolução, foi encontrado o valor de 33 cm em 240 *pixels*, que representa o eixo Y do sistema de coordenadas da câmera e 44 cm em 320 *pixels*, representando o eixo X.

Essa relação permitiu estabelecer o exato ponto do centroide em referência métrica. Se para 320 *pixels* a referência métrica é de 44 cm, quantos cm serão estabelecidos ao encontrar o centroide. A equação 3.3 expressa a coordenada X da imagem. Será tomado como exemplo o centroide na coordenada X com 50 *pixels*.

$$convertcoordX = \left(\frac{centroids(1) * 44}{320} \right)$$

$$convertcoordX = \left(\frac{50 * 44}{320} \right) / 100 \quad 3.3$$

$$convertcoordX = 0.0688 \text{ m}$$

Sendo:

Centroids(1) = O centroide do objeto identificado na coordenada X da imagem;

44/320 = Relação de transformação em unidade métrica;

100 = Conversão para valor em metros;

ConvertcoordX = Recebe valor em metros do centroide.

Centroide na coordenada Y com 103 *pixels* (Equação 3.4).

$$convertcoordY = \left(\frac{centroids(2) * 33}{240} \right)$$

3.4

$$convertcoordY = \left(\frac{103 * 33}{240} \right) / 100$$

$$convertcoordY = 0.1416 \text{ m}$$

Sendo:

Centroids(2) = O centroide do objeto identificado na coordenada Y da imagem;

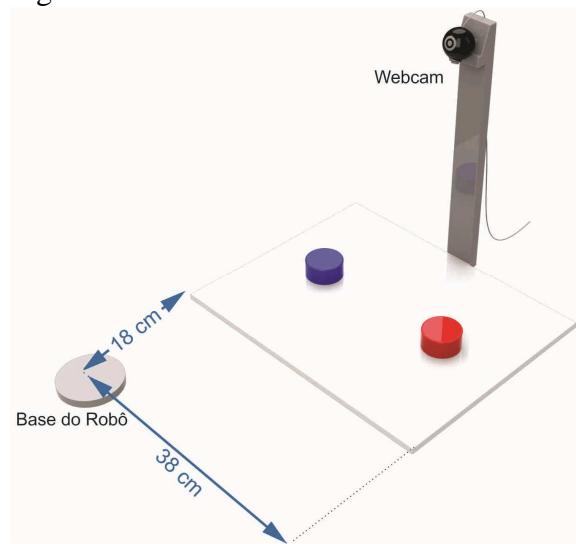
33/240 = Relação de transformação em unidade métrica;

100 = Conversão para valor em metros;

ConvertcoordY = Recebe valor em metros do centroide.

Após converter os valores em *pixels* para unidade métrica conhecida pelo braço robótico é necessário cruzar os sistemas de coordenadas deste e da imagem coletada. O braço robótico possui um sistema de coordenadas no plano 3D, sendo necessário trabalhar em X, Y e Z para seu posicionamento. Enquanto a imagem possui um sistema de coordenadas somente no plano 2D, X e Y.

Figura 07 – Distância em X e Y até a área de trabalho



Fonte: Dados da Pesquisa

A Figura 07 apresenta a distância da base do braço robótico que será tomada como referência para que seja feito a integração dos dois sistemas de coordenadas, até o inicio da área de trabalho, em X e Y. Devido ao posicionamento adotado para realizar a tarefa os sistemas de coordenadas ficaram invertidos (Equação 3.5).

$$\begin{aligned} coordimgX &= (- convertcoordY - 0.18) \\ coordimgY &= (convertcoordX - 0.38) \end{aligned} \quad (3.5)$$

Onde:

ConvertcoordY = Recebe valor em metros do centroide em Y;

-0.20 = Distância da base do braço robótico até a área de trabalho em Y;

coordimgX = Recebe valor que será a referência da coordenada X do braço robótico;

ConvertcoordX = Recebe valor em metros do centroide em X;

-0.38 = Distância da base do braço robótico até a área de trabalho em X;

coordimgY = Recebe valor que será a referência da coordenada Y do braço robótico.

Para coordenada Z foi estabelecida uma distância fixa de 10cm, que é a altura do objeto desejado.

Como a câmera é fixa e a área de trabalho é estruturada em relação à base do robô, não foi necessário estabelecer relação com o sistema de coordenadas da imagem para esta coordenada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos foram coletados com base na metodologia proposta. Foram realizados diversos testes de movimento do braço robótico por coordenadas absolutas, através da ferramenta *Robotics Toolbox* do Matlab®, posteriormente foram realizados testes de localização do centroide do objeto, que permitiu validar o funcionamento do processamento de imagens, com os resultados das duas partes de interesse, finalmente foi possível estabelecer uma relação de precisão e repetibilidade dos movimentos do braço robótico baseado em visão computacional.

4.1 MOVIMENTOS DO BRAÇO ROBÓTICO POR COORDENADAS ABSOLUTAS

O modelo do robô é definido pelos parâmetros de D-H, conforme descrito na metodologia deste trabalho. O robô virtual foi gerado em um ponto inicial referenciado na extremidade do braço, onde foram obtidos os valores de 0.675, 0 e 0.470 para as coordenadas X, Y e Z respectivamente. Esta condição foi adotada no modelo físico, possibilitando obter o correto posicionamento dos eixos.

Com base nestas informações, foram realizados 10 movimentos por coordenadas absolutas. Ao término do movimento é possível perceber que o gráfico representado pela Figura 04 do modelo robô ficava muito semelhante ao físico. A tabela 02 apresenta os valores coletados nos testes.

Tabela 02 – Movimento do braço robótico por coordenadas absolutas

| Movimentos | Posição Desejada (cm) | | | Posição Final (cm) | | | Erro (cm) | | |
|-------------------|------------------------------|-------|------|---------------------------|-------|------|------------------|-----|-----|
| | X | Y | Z | X | Y | Z | X | Y | Z |
| 1 | -40,2 | -20,5 | 10,9 | -39,5 | -18,9 | 12,3 | 0,7 | 1,6 | 1,4 |
| 2 | -25 | 36,9 | 35,8 | -23 | -35 | 38 | 2 | 1,9 | 2,2 |
| 3 | 30,5 | -40,8 | 40,8 | 31 | -42 | 42,5 | 0,5 | 1,2 | 1,7 |
| 4 | -11,5 | 24,5 | 69,8 | 12,8 | -26,1 | 71 | 1,3 | 1,6 | 1,2 |
| 5 | 39,5 | 29 | 50,9 | 38,3 | 27,1 | 52 | 1,2 | 1,9 | 1,1 |
| 6 | -17,8 | 35 | 85,8 | -16,2 | 36,2 | 85,1 | 1,6 | 1,2 | 0,7 |
| 7 | -9 | -35 | 90 | -10,1 | -36,1 | 91 | 1,1 | 1,1 | 1 |
| 8 | -26,8 | -11 | 91 | -27,7 | -10,3 | 89,7 | 0,9 | 0,7 | 1,3 |
| 9 | -15,6 | 34,7 | 80,5 | -16,9 | 33,2 | 81,4 | 1,3 | 1,5 | 0,9 |
| 10 | 30,6 | 28,7 | 34,5 | 31,2 | 29,9 | 34,7 | 0,6 | 1,2 | 0,2 |

Fonte: Dados da Pesquisa

A repetibilidade é a capacidade de o efetuador terminal atingir um ponto previamente determinado diversas vezes seguido. Um manipulador robótico com baixa repetibilidade terá como consequência problemas de precisão no posicionamento de sua extremidade. Enquanto a precisão indica o grau de aproximação do órgão terminal com relação a um determinado ponto dentro do volume de trabalho (CARRARA, 2006).

Tabela 03 – Resultado dos testes de Precisão e Repetibilidade por coordenadas absolutas

| PRECISÃO | REPETIBILIDADE |
|-----------------|-----------------------|
| 85% | 90% |

Fonte: Dados da Pesquisa

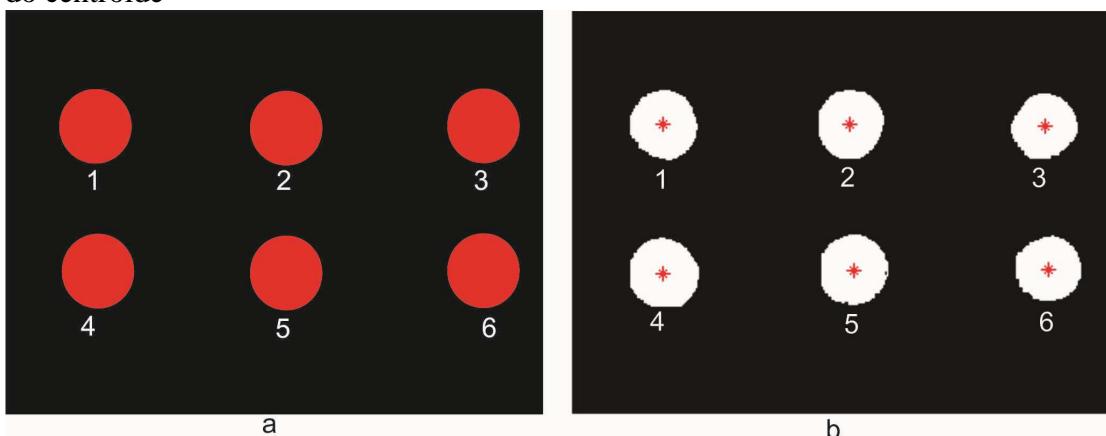
Como apresentado na Tabela 03 à posição final do braço robótico não teve um resultado perfeito, alcançando aproximadamente 85% de precisão em seu posicionamento final. Os testes

realizados sem o uso da visão neste tópico fornecem informações importantes na validação que será realizada posteriormente, na qual a referência das coordenadas X, Y e Z para posicionamento do braço robótico é fornecida pela imagem.

4.2 TESTE DO PROCESSAMENTO DE IMAGENS E LOCALIZAÇÃO DO CENTRÓIDE

O próximo teste consiste em colocar o objeto de cor vermelha em seis pontos diferentes da área de trabalho, isso possibilitou validar a precisão do sistema de visão. A Figura 08 apresenta a vista superior com o objeto de cor vermelha nos seis pontos que foram testados na área de trabalho.

Figura 08 – Vista superior do objeto vermelho. (a) – Ilustração em formato RGB. (b) – Identificação do centroide



Fonte: Dados da Pesquisa

4.2 MOVIMENTOS DO BRAÇO ROBÓTICO POR IMAGEM

Os resultados encontrados nos métodos anteriores forneceram parâmetros importantes para realizar os testes de controle de trajetória do braço robótico referenciado por visão computacional. Como foi possível analisar, os resultados de posição por coordenadas absolutas apresentaram alguns erros, devido à baixa precisão dos sensores, enquanto os resultados do processamento de imagens e localização do centroide alcançaram o objetivo de forma satisfatória.

Os testes finais permitem avaliar o controle de trajetória do braço robótico com base na metodologia e nas informações adquiridas no testes isolados (itens 4.1 e 4.2), a fim de medir a repetibilidade e precisão alcançada pelo braço robótico em conjunto com o sistema de visão computacional.

A solicitação da peça vermelha ou azul foi feita por meio da interface com o usuário, apresentada em metodologia na Figura 02, resultando no posicionamento do braço robótico, conforme Figura 09.

Figura 09 – Posicionamento do braço robótico sobre a peça



Fonte: Dados da Pesquisa

O processamento de imagens mostrou-se satisfatório e cumpriu o proposto neste projeto, que consistia em encontrar o objeto em qualquer ponto da área de trabalho e detectar o centroide.

O posicionamento do braço robótico, não teve perfeição ao término do movimento, apresentando alguns erros, devido aos sensores potenciômetros lineares que foram utilizados. Estes sensores não são os mais indicados para esta finalidade, onde a precisão e repetibilidade do efetuador final devem possuir um índice alto de confiabilidade (BELINI, 2012).

As variações de posicionamento do braço robótico não permitiram que a pega da peça fosse efetuada com sucesso, como os erros variam de 0.5 a 2 cm (Tabela 02) nas três coordenadas e a bobina que está acoplada ao efetuador final não possui uma área grande de contato, não foi possível realizar a captura do objeto para todos os casos. Desta forma os resultados coletados foram com base no posicionamento do efetuador final e não na captura da peça. Na Tabela 04 são apresentados os resultados de precisão e repetibilidade do posicionamento do braço robótico por visão computacional.

Tabela 04 – Resultados dos testes de Precisão e Repetibilidade por visão computacional

| POSIÇÃO | PRECISÃO | REPETIBILIDADE |
|---------|----------|----------------|
| 1 | 60% | 90% |
| 2 | 90% | 100% |
| 3 | 90% | 100% |
| 4 | 75% | 85% |
| 5 | 92% | 100% |
| 6 | 90% | 95% |

Fonte: Dados da Pesquisa

O objeto para ambas as cores foi encontrado com sucesso na imagem coletada, enquanto o posicionamento do braço referenciado por visão computacional alcançou em alguns casos 100% de repetibilidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estatísticas apresentadas ao longo deste trabalho evidenciam que as aplicações que envolvem o uso de imagens tiveram um crescimento acentuado nos últimos anos. A informação que uma única matriz de dados é capaz de fornecer torna os sistemas artificiais de visão uma ferramenta revolucionária em processos industriais, capazes de informar os detalhes ínfimos de uma cena, daí a importância deste segmento na robótica industrial.

No decorrer deste projeto foi possível discutir amplamente sobre as duas áreas propostas. Na visão computacional foram abordados assuntos que compreendem desde o princípio construtivo das cores até o processamento de imagens, que apesar de difícil tratamento permitiu a identificação dos pontos de interesse na imagem, avaliados pela cor do objeto desejado. No segmento da robótica foi discutida a importância dos componentes usados para o modelo físico do robô. A escolha das partes que o compõe a estrutura deste deve ser feita criteriosamente, a fim de evitar problemas quanto à precisão, conforme pode ser visto no decorrer deste trabalho. Outro ponto importante, foi a implementação da modelagem cinemática na estrutura física do braço robótico, fazendo a comparação do posicionamento da simulação virtual com o da estrutura real. Do mesmo modo que foi possível mensurar a integração dos sistemas de coordenadas da câmera e do braço robótico.

Acrescentam-se ainda as vantagens em utilizar o *software* de computação Matlab®. Com uma linguagem de fácil entendimento permitiu que o desenvolvedor deste projeto interagisse

rapidamente com as suas funcionalidades, além de possuir as ferramentas de auxílio para o processamento de imagens e modelagem cinemática do braço robótico.

De uma forma geral os objetivos propostos neste trabalho foram alcançados com sucesso. A aquisição e processamento de imagens foram avaliados pela detecção e binarização do objeto de desejo na cena, ao passo que todas as tomadas de decisão do braço robótico foram referenciadas pela imagem.

Por fim, a área da visão computacional aplicada à robótica permitiu um grande aprendizado ao longo do desenvolvimento deste projeto de pesquisa, e certamente abre novas oportunidades para futuros trabalhos.

REFERÊNCIAS

- A4TECH. **Site.** 2013. Disponível em <www.a4tech.com> acesso em: 27 abr. 2013.
- AMALGAMA. **Site.** 2013. Disponível em <www.amalgama.blog.br/02/2013/custo-da-mao-de-obra-crescimento-do-brasil/> acesso em: 31 mai. 2013.
- BELINI, D, R, T. **Robô Didático Antropomórfico Controlado Via MATLAB®** 2012. Monografia. (Graduação em Engenharia de Controle e Automação). Cascavel: Faculdade Assis Gurgacz), 2012.
- BRITES, G, F; SANTOS, A, P, V. **Motor de passo.** Artigo. 2008. (Universidade Federal Fluminense) - Centro Tecnológico, Niterói, 2008.
- CAMPOS, M, F; NETO, V, F. **Visão Computacional Calibração de Câmeras.** 2007. Monografia. (Graduação em Computação). Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de Ciência da Computação, 2007.
- CARRARA, V. **Apostila de Robótica.** Precisão e Repetibilidade. 2006. Universidade Braz Cubas, Mogi das Cruzes, 2006.
- CORKE, P. **Robotics, Vision and Control Fundamental Algorithms in MATLAB®.** Brisbane: Springer, 2011.
- DREXEL UNIVERSITY ELECTRICAL & COMPUTER ENGINEERING. **Site.** 2013. Disponível em <http://www.ece.drexel.edu/courses/ECE-E432/Lab2_Sources.html> acesso em 23 out. 2013.
- EMVA – EUROPEAN MACHINE VISION ASSOCIATION. **Site.** 2013. Disponível em <www.emva.org> acesso em: 24 mar. 2013.
- FILHO, O, M; NETO, H, V. **Processamento Digital de Imagens.** Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

FOREST, R, L. **Sistema de Visão Robótica para Reconhecimento de Contornos de Componentes na Aplicação de Processos Industriais.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

GONZALEZ, R, C; WOODS, R, E. **Processamento de Imagens Digitais.** São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2000.

GRASSI, M, V. Desenvolvimento e **Aplicação de Sistema de Visão para Robô Industrial de Manipulação.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

IMATIC SISTEMAS INDUSTRIAS DE VISÃO. Site. 2013. Disponível em <www.imatic.com.br/svisao.htm> acesso em: 24 mar. 2013.

INTERNATIONAL FEDERATION ROBOTICS. Site. 2013. Disponível em <www.ifr.org> acesso em: 07 abr. 2013.

LENZ, M, L; ADUR, M. **Levitador Magnético.** 2012. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) Cascavel: Faculdade Assis Gurgacz, 2012.

MANSSOUR, H, I; COHEN, M. **Introdução a Computação Gráfica.** Artigo. 2006. Pontifícia Universidade Católica do Paraná - Faculdade de Informática, Porto Alegre, 2006.

MENDES, R. **A Tomografia Computadorizada de Raios X Como Método não Destrutivo de Análise Volumétrica de Concreto: Estudo de Caso em Testemunho de Concreto da Usina Hidroelétrica Mourão.** 2010. Artigo. (Universidade Federal do Paraná) - Setor de Tecnologia, Curitiba, 2010.

MENESES, P, M; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília: UNB, 2012.

PACKAGERS CHOOSE MACHINE VISION QUALITY INSPECTION TO RED WASTE AND BOOST ROI. São Paulo, 2010.

QUEIROZ, J, E; GOMES, H, M. **Introdução ao processamento Digital de Imagens.** 2001. Artigo (Universidade Federal de Campina Grande) – Departamento de Sistemas da Computação, Campina Grande, 2001.

RODRIGUES, D, L. **Procedimento Automático para calibração de Sistemas de Visão Robótica para Operações Pick-and-Place.** 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica Aeronáutica) São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 1997.

RODRIGUES, E. **Aplicação de Visão Computacional para Extração de Características em Imagem do Olho Humano.** 2007. Artigo (Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo) – Curso de Engenharia de Computação com ênfase em Sistemas Embarcados, São Carlos, 2007.

ROMANO, V, F. **Robótica Industrial:** Aplicação na Indústria da Manufatura e de Processos. Rio de Janeiro: Edgard Blucher, 2002.

ROSÁRIO, J. M. **Princípios de Mecatrônica**. São Paulo: Pearson, 2006.

SCURI, A, E. **Fundamentos de Imagens Digitais**. 2002. Artigo. (Tecgraf/ PUC – Rio), Rio de Janeiro, 2002.

SIEMENS. **Site**. 2013. Disponível em <www.siemens.com/innovation/en/publikationen/publications_pof/pof_fall_2006/sustainable_city_development/facts_and_forecasts.htm> acesso em 30 mar. 2013.

SILVA, A. C. **Algoritmos para Diagnóstico Assistido de Nódulos Pulmonares Solitários em Imagens de Tomografia Computadorizada**. PUC – RIO, 2004.

STEMMER, M, R; ORTH, A; ROLOFF, M, L; DESCHAMPS, F; PAVIM, A, X. **Apostila de Sistema de Visão**. Florianópolis: Sistemas Industriais Inteligentes, 2005.

STIVANELLO, M. E. **Inspeção Industrial Através de Visão Computacional**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Regional de Blumenau Centro de Ciências Exatas e Naturais, Blumenau, 2004.

VDMA – VERBAND DEUTSCHER MASCHINEN UND ANLAGENBEU. **Site**. 2013. Disponível em <www.vdma.org> acesso em: 24 mar. 2013.

VIECILI, E, B; ALCANTRA, M, F; ROMÃO, A; HOUNSELL, M, S; PILLON, M, A; HEINEN, M, R. **Desenvolvimento de um Robô Móvel com Visão para Propósitos Educacionais**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação. Joinville: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2012.