

## ‘VISÃO COMPUTACIONAL VOLTADA A ROBÓTICA: CÁLCULO DE DISTÂNCIA COM MONOCÂMERA’

Júlia Maria Nascimento Ribeiro<sup>1</sup>; Lucas Amparo Barbosa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Elétrica; Iniciação científica - Centro de competência de robótica (RASC); julia.ribeiro@fbest.org.br

<sup>2</sup> Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador - BA; lucas.barbosa@fieb.org.br

### RESUMO

O artigo aborda a utilização de visão computacional e marcadores fiduciais ArUco na medição de distâncias com uma câmera única, visando aplicação em robótica. A calibração da câmera é essencial devido às distorções radiais que podem afetar a precisão. Testes em laboratório demonstraram que a distorção afeta a relação entre a angulação dos marcadores e o erro de medição, identificando-a como distorção radial. Após a calibração, os resultados foram satisfatórios, mostrando baixo erro nas medições. A influência da angulação e da distância na precisão foi evidente, destacando a importância da calibração adequada da câmera. O algoritmo desenvolvido apresentou desempenho consistente, promovendo uma aplicação econômica e confiável para medição de distâncias em sistemas robóticos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Monocamera; ArUco; Visão computacional.

### 1. INTRODUÇÃO

Os Processos de Visão Computacional desempenham um papel crucial em projetos de Robótica, auxiliando na navegação e tomada de decisões. Os Marcadores ArUcos são um tipo de marcador fiducial, utilizados na visão computacional como facilitadores de identificação. São compostos por padrões binários 2D que podem ser detectados de forma eficiente por algoritmos de visão computacional 1, fornecendo pontos de referência visual confiáveis. A calibração cuidadosa das câmeras é essencial devido às possíveis distorções, como a distorção radial. Esse tipo de distorção apresenta uma distorção mais pronunciada nos cantos da imagem, isso ocorre devido à construção das lentes e ao alinhamento dos seus componentes internos<sup>2</sup>, que afeta a precisão das medições. A medição precisa da distância entre objetos e observador é fundamental na robótica, garantindo segurança e orientação. Este trabalho apresenta os resultados de um algoritmo de cálculo de distância desenvolvido para uma única câmera, buscando uma solução acessível sem comprometer a confiabilidade.

### 2. METODOLOGIA

A metodologia do projeto foi baseada em uma breve revisão bibliográfica, seguida de testes práticos para visualização do uso de monocâmeras para a medição de distâncias.

Por ser um marcador amplamente difundido na visão computacional, os marcadores ArUco foram utilizados como uma forma de delimitação para se realizar o cálculo de distância utilizando-se somente uma Mono-Câmera. Para que possa ser realizado o cálculo da distância a seguinte fórmula foi utilizada:

$$d_{obj} = \frac{f \times h_{obj} \times h_{cfg}}{h_{objPx} \times d_{tc}} \quad (1); \quad d_{tc} = h_{mfc} - h_{cfg} \quad (1).$$

Onde:  $f$  = distância focal da câmara;  $h_{obj}$  = Altura do objeto (m);  $h_{cfg}$  = distância da câmera até o chão;  $h_{objPx}$  = Altura do objeto em pixels;  $h_{Câmera}$  = Altura do câmera;  $d_{tc}$  = distância até a câmera;  $h_{mfc}$  = altura do marcador.

Foram utilizados o pacote `pose_estimation` do Aruco-markers, uma câmera Logitech webcam c270, fita métrica e marcadores ArUco para realizar o cálculo de distância. Os testes envolveram dois cenários distintos, com as mesmas três ArUcos identificadas pelos ID's 3, 5 e 7. Uma fita métrica foi posicionada no chão para aferir as medidas reais, e a ArUco de ID = 7 foi usada como referência, estando a 3 metros da câmera. A ArUco de ID = 3 foi o foco dos testes, visando calcular sua distância para a câmera quando posicionada de frente (0°), seguida pela avaliação do erro nos resultados.

$$Erro = Dist. Real - Dist. Medida \quad (2)$$

Deste modo, os testes foram realizados em ambiente controlado (laboratório), facilitando a medida precisa dos resultados. Os resultados apresentaram um erro que varia entre 0 e 0,006.

Figura 1: Cenários de Teste



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir da comparação entre os valores inferidos e os valores reais foram divididos em duas classes: com distorção e sem distorção.

#### 3.1 Resultados com distorção

Os resultados iniciais revelaram um problema de distorção devido à calibração incorreta da câmera. Observou-se uma relação entre a angulação das ArUcos e o erro de cálculo de distância, evidenciada na Figura 2(a), onde o aumento da angulação resulta em uma diminuição do erro, especialmente nos ângulos positivos de 0° a 60°, conforme mostrado na Figura 2(b). Por outro lado, os ângulos negativos causam um aumento no erro. Esses resultados indicam uma distorção radial, confirmada pela comparação entre os ângulos positivos e negativos, como ilustrado na Figura 2(c) e na Figura 3(c). Essas análises proporcionaram conclusões valiosas sobre o comportamento do erro em diferentes configurações angulares em ambientes sem calibração.

Figura 2: Relação entre angulação e erro para a distância de 1,70m da ArUco 3 para angulações positivas com distorção (a); Relação entre angulação e erro para a distância de 1,70m da ArUco 3 para angulações negativas com distorção (b); Relação entre erros para a distância de 1,70m da ArUco 3 para angulações positivas e negativas com distorção (c).

Aruco 3				Aruco 3				ArUco 3	
Dist. Real (M)	Dist. Medida (M)	Angulação	Erro	Dist. Real (M)	Dist. Medida (M)	Angulação	Erro	Erro 1 (Ang. Positiva)	Erro 2 (Ang. Negativa)
1,7	1,53	0°	0,17	1,7	1,53	0°	0,17	0,17	0,17
1,7	1,55	10°	0,15	1,7	1,5	-10°	0,2	0,15	0,2
1,7	1,63	20°	0,07	1,7	1,46	-20°	0,24	0,07	0,24
1,7	1,63	30°	0,07	1,7	1,46	-30°	0,24	0,06	0,24
1,7	1,65	40°	0,05	1,7	1,42	-40°	0,28	0,05	0,28
1,7	1,68	50°	0,02	1,7	1,4	-50°	0,3	0,02	0,3
1,7	1,7	60°	0	1,7	-	-60°	-	0	-

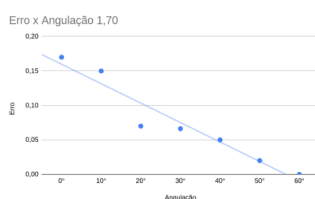
a)

b)

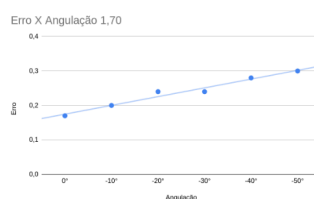
c)

Na Figura 3(a), o gráfico gerado a partir dos dados presentes na Figura 2(a) destaca a relação inversamente proporcional entre a angulação e o erro. Já na Figura 3(b), observa-se uma relação de proporcionalidade direta entre a angulação e o erro para os ângulos negativos, indicando uma tendência de aumento linear do erro conforme a angulação aumenta.

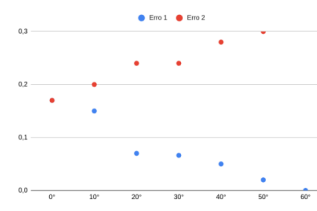
Figura 3: Gráfico de relação entre angulação e erro para a distância de 1,70m da ArUco 3 para angulações positivas com distorção (a); Gráfico de relação entre angulação e erro para a distância de 1,70m da ArUco 3 para angulações negativas com distorção (b); Gráfico de relação entre erros para a distância de 1,70m da ArUco 3 para angulações positivas e negativas com distorção (c).



a)



b)



c)

Após a comparação dos erros, concluiu-se que a câmera apresenta uma distorção radial. A calibração adequada da câmera foi realizada e os testes foram repetidos.

### 3.2 Resultados sem distorção

Na Figura 4(a), os resultados dos testes sem distorção radial são apresentados, demonstrando um aumento do erro à medida que a angulação aumenta de 0° a 60°. O erro inicialmente é zero em 0°, refletindo a distância real medida pela câmera. Os resultados foram satisfatórios, especialmente quando a ArUco está parada de frente para a câmera, como no cenário 1 mostrado na Figura 1. Para corroborar os resultados, foram realizados testes adicionais no cenário 2, conforme mostrado na Figura 1. Na Figura 4(b), os resultados desses testes são exibidos, utilizando um método diferente onde a angulação das ArUcos permaneceu fixa em 0° e a distância real variou. O gráfico na Figura 5(a) ilustra o aumento do erro negativo à medida que a distância real aumenta, evidenciando o comportamento do algoritmo de cálculo de distância.

Figura 4: Relação entre angulação e erro para a distância de 1,70m da ArUco 3 para angulações positivas sem distorção (a); Tabela de Relação entre distância e erro para a ArUco 3 sem distorção (b).

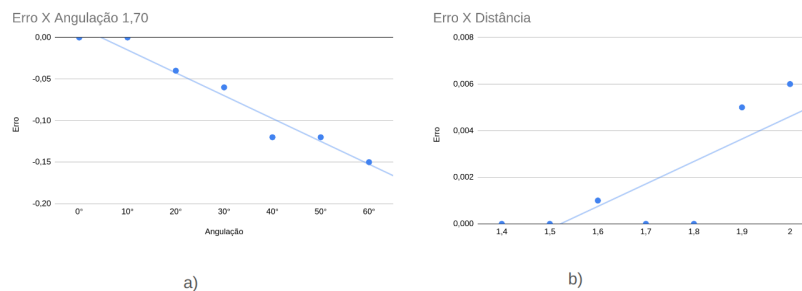
Aruco 3				Aruco 3			
Dist. Real (M)	Dist. Medida (M)	Angulação	Erro	Dist. Real (M)	Dist. Medida (M)	Angulação	Erro
1,7	1,70	0°	0	1,4	1,4	0°	0
1,7	1,7	10°	0	1,5	1,5	0°	0
1,7	1,74	20°	-0,04	1,6	1,599	0°	0,001
1,7	1,76	30°	-0,06	1,7	1,7	0°	0
1,7	1,82	40°	-0,12	1,8	1,8	0°	0
1,7	1,82	50°	-0,12	1,9	1,895	0°	0,005
1,7	1,85	60°	-0,15	2	1,994	0°	0,006

a)

b)

Na figura 5 (b) é possível observar o gráfico da relação entre a distância e o erro, é possível notar que a partir da distância de 1,90m o erro começa a se apresentar considerável.

Figura 5: Gráfico de relação entre angulação e erro para a distância de 1,70m da ArUco 3 para angulações positivas sem distorção (a); Gráfico da relação entre distância e erro sem distorção (b).



a)

b)

Os resultados do cenário 2 confirmaram a eficácia do algoritmo de cálculo de distância, demonstrando erro mínimo ou nulo em angulações de 0 graus. O algoritmo começou a apresentar um erro significativo somente a partir de uma distância de 1,90m.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos, é possível analisar a influência da angulação e do aumento da distância na precisão do cálculo de distância. É notável que com a câmera descalibrada a alteração na angulação se faz necessária pois a distorção faz com que a câmera não perceba a ArUco em 0° quando a mesma está nessa angulação, o ajuste da angulação ajuda a câmera a perceber a ArUco como estando reta em direção (estando em 0°) a câmera e assim conseguindo capturar os valores corretos para empregar na fórmula de cálculo de distância. Quando é aplicada a calibração da câmera, a necessidade de intervenção manual é descartada e o algoritmo consegue apresentar resultados satisfatórios com baixo ou nenhum erro. Foi notável também a relação do aumento da distância com o aumento do erro, possível notar pela figura 5. Os testes foram feitos com a ArUco estando a no máximo 2m de distância da câmera, e mesmo com o maior erro apresentado, a diferença se manteve na casa dos milímetros, sendo um erro aceitável. Diante do citado, o algoritmo obteve um bom desempenho e resultados coerentes dentro do

esperado.

## 5. REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup> Arcanjo, Jonys. Detecção de Marcadores ArUco em Streams de Vídeo em Tempo Real com OpenCV. *Medium*, 27 de abril de 2021. Disponível em: <https://medium.com/jonys-arcanjo/detec%C3%A7%C3%A3o-de-marcadores-aruco-em-streams-de-v%C3%ADdeo-em-tempo-real-com-opencv-9a3d99c667d7>. Acesso em: 29 Agosto 2023.
- <sup>2</sup>CAMERANEON. Distorção radial em fotografias. Disponível em: <http://cameraneon.com/tecnicas/distorcao-radial-em-fotografias/>. Acesso em: 31 Agosto 2023.