

APLICAÇÃO DE RECONHECIMENTO DE PADRÃO EM PROCESSAMENTO DE IMAGENS COLETADAS POR VANT PARA INSPEÇÃO DE GUARDA-CORPO

Pattern recognition application in image processing by UAS for guardrails inspection

Rafaela Oliveira Rey
Universidade Federal da Bahia | Salvador, BA | rafaelarey2@gmail.com

Larissa Vieira Sampaio Sá
Universidade Federal da Bahia | Salvador, BA | larissasampaio483@hotmail.com

Dayana Bastos Costa
Universidade Federal da Bahia | Salvador, BA | dayanabcosta@gmail.com

RESUMO

No setor de construção, a falta de acesso a informações em tempo real é um dos motivos que atrasam a tomada de decisões relacionadas ao gerenciamento de segurança, especialmente em operações complexas. Com o advento da indústria 4.0 e das diversas alternativas tecnológicas, a forma de realizar processos tende a mudar, tornando a coleta, o processamento e a visualização de dados mais dinâmicos e automatizados. Estudos recentes relatam o uso de tecnologias visuais, como o uso de veículos aéreos não tripulados (VANT), tecnologias visuais e técnicas de reconhecimento de imagem para auxiliar as atividades de inspeção no canteiro de obras, para reduzir situações inseguras no campo. Apesar desses esforços, poucos estudos são voltados para a inspeção de equipamentos de proteção coletiva (EPC). Portanto, este trabalho tem como objetivo propor um sistema automatizado de inspeção de segurança em obras, com foco em EPC, utilizando reconhecimento de padrão em processamento de imagens coletadas por VANT. Através de um estudo experimental, foi possível comparar diferentes variáveis e avaliar a precisão do sistema. Portanto, a principal contribuição é o desenvolvimento de uma ferramenta para a inspeção das condições de segurança no canteiro de obra, fornecendo informações precisas para tomada de decisão.

Palavras-chave: Inspeção de segurança; Automatização; Reconhecimento de padrão; Processamento de imagem; Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)

ABSTRACT

In the construction industry, the lack of access to real-time information is one reason that delay decision-making related to safety management, especially in complex operations. With the advent of industry 4.0 and the various technological alternatives, the way of performing processes tends to change, making data collection, processing and visualization more dynamic and automated. Recent studies report the use of visual technologies, such as the use of Unmanned Aerial Systems (UASs), visual technologies, and image recognition techniques to aid inspection activities at construction site, to reduce unsafe situations in the field. Despite these efforts, few studies are focus on inspection of collective protection equipment (EPC). Therefore, this study aims to propose an automated system to support safety inspection on construction site, focusing on guardrails systems, using pattern recognition and image processing from Unnamed Aerial System. The system was developed with the use of pattern recognition in computer language, and tested with images collected with UAS. Through an experimental study, it was possible to compare different variables and to evaluate the accuracy of the system. Therefore, the main contribution is the development of a tool for inspecting safety conditions at construction site environment, providing accurate information in real time.

Keywords: Safety inspection; Automation; Pattern recognition; Image processing; Unmanned Aerial System (UAS)

1 INTRODUÇÃO

A estrutura de trabalho na indústria da construção está em constante mudança. As atividades envolvem operações ao ar livre, trabalho em altura e operação de máquinas e equipamentos, que repercutem em uma grande variabilidade de medidas de segurança exigida (FINNERAN; GIBB, 2013), e refletem nas taxas de acidentes registradas.

As inspeções de segurança são intervenções que visam identificar e corrigir comportamentos e ambientes inseguros, verificando se os sistemas estão funcionando adequadamente, sendo um elemento essencial para prevenir acidentes (ZHANG et al, 2016; CHI et al, 2016). Porém, nem todas as não-conformidades são

REY, R. O.; SÁ, L. V. S.; COSTA, D. B. Aplicação de reconhecimento de padrão em processamento de imagens coletadas por VANT para inspeção de guarda-corpo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas, SP. **Anais[...].** Porto Alegre: ANTAC, 2019. Disponível em https://antaceventos.net.br/index.php/sbtic/sbtic2019/paper/view/213

encontradas a tempo, pois em geral existem poucos profissionais de segurança para elevadas demandas, dificultando ainda mais o monitoramento dos locais de trabalho (LIN et al., 2014).

Siddula et al. (2016) acreditam que uma alternativa para melhorar esse processo é automatizá-lo com o uso de novas tecnologias. O avanço e a difusão da tecnologia permitem que o trabalho de inspeção seja feito automaticamente em tempo real (SIDDULA et al., 2016). Os processos automatizados permitem redução dos custos, aumento da produtividade e da qualidade, e proporciona maior segurança no canteiro (WORD ECONOMIC FORUM, 2017).

Esta visão de automatização dos processos de inspeção está alinhada ao conceito de Indústria 4.0, que é a integração inteligente entre pessoas e máquinas com objetos e sistemas de informação e comunicação para permitir um gerenciamento dinâmico de sistemas complexos (PRAUSE; WEIGAND, 2016). Assim, é possível reduzir o tempo gasto pelos profissionais em tarefas de coleta, deixando-os com mais tempo para tarefas de valor agregado e tomadas de decisão (CORRÊA, 2018).

Recentemente, a visão computacional atraiu a atenção devido ao seu potencial para o monitoramento automatizado e contínuo em locais de construção. Com o uso de imagens é possível obter ricas informações sobre o local de trabalho, facilitando o entendimento das complexas tarefas de construção e contribuindo na identificação das zonas de perigo (SEO et al., 2015; GUO et al., 2017).

A visão computacional é um campo de trabalho interdisciplinar que lida com os métodos usados por computadores para obter um alto nível de compreensão das imagens ou vídeos digitais (ZHOU et al., 2019). Assim, o processamento de imagens é a manipulação de imagens por computador, que busca aprimorar a informação visual para análise e interpretação humana (GONZALEZ; WOODS, 2000). Ele é constituído de diversas etapas, dentre elas está o reconhecimento de padrão, cujo objetivo é realizar a classificação dos objetos extraídos da imagem de forma automática (ESQUEF et al., 2003).

Embora exista um avanço em termos tecnológicos, poucos são os trabalhos ligados a visão computacional para a inspeção de equipamentos de proteções coletivas (EPC). Logo, o objetivo deste artigo é avaliar o potencial de uso de técnicas de reconhecimento de padrão em processamento de imagens, utilizando Veículos Aéreos não Tripulados (VANT) para a proposição de um sistema automatizado para inspeção de segurança na obra, com foco em guarda-corpos, visando contribuir na simplificação do processo de inspeção no canteiro.

2 METODOLOGIA

O método adotado foi a pesquisa experimental, tendo como principais etapas: (a) desenvolvimento do sistema de inspeção para reconhecimento de padrão em guarda-corpo; (b) teste do sistema com base em imagens coletadas com VANT; e (c) avaliação de desempenho do algoritmo desenvolvido.

2.1 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Para propor esse sistema de inspeção, foi desenvolvido um algoritmo para reconhecimento de padrão de guarda-corpo com o uso do software MATLAB. O algoritmo teve como referência a lógica de processamento utilizada por Mendes et al. (2018), mas buscando solucionar algumas barreiras encontradas anteriormente, tais quais: a necessidade de processar uma imagem por vez, atrasando o processo como um todo; identificação incorreta dos marcadores em algumas imagens, gerando erros de medida grosseiros. O novo algoritmo (Figura 1), baseado na leitura da imagem e na localização do maior conjunto de pixels com a mesma cor, utilizou dois sistemas de cores (HSV - *Hue Saturation Value* e RGB - *Red Green Blue*) a fim de garantir o menor erro de reconhecimento para cada cor e material presente no guarda-corpo.

Figura 1: Código desenvolvido no MATLAB para processamento das imagens.

1.Executa ações necessárias para o código funcionar corretamente

```
system('taskkill /F /IM EXCEL.EXE');
close all
clear all
clc
```

2. Abre uma janela no Windows para que o usuário possa selecionar as fotos

```
[fotos] = uigetfile('*.jpg',...
                    'Selecione as fotos', ...
                    'MultiSelect', 'on');
if isequal(fotos,0)
   warndlg('Você não escolheu uma
foto!','Erro!');
else
```

3. Verifica quantas fotos foram escolhidas e salvas na variável w

```
foto=cellstr(fotos);
w=length(foto);
```

4.Apaga todos os dados da planilha e escreve o título das colunas

```
[N, T, Raw]=xlsread('Guarda-corpo.xlsx');
[Raw{:, :}]=deal(NaN);
xlswrite('Guarda-corpo.xlsx', Raw);
Titulo={'Número','Comprimento','Altura','Erro
','Intermediária','Erro'};
xlswrite('Guarda-
corpo.xlsx',Titulo,'Resultados','B2');
```

5.Configura a figura

```
figure('Numbertitle','off',...
       'Color',[0 0 0],...
       'Toolbar','none');
set(gcf,'MenuBar','none');
set(gca,'Position',[0 0 1 1]);
set(gcf,
'units','normalized','outerposition',[0 0.2 1
0.6]);
```

6.Zera todas as variáveis

```
for i=0:w
if i>0
r=0;x1=0;y1=0;x2=0;y2=0;n1=0;m1=0;n2=0;m2=0;
Comprimento=0;Altura=0;Intermediaria=0;
ErroComprimento=0;ErroAltura=0;ErroIntermedia
ria=0;
```

7.Leitura da foto e conversão para HSV

```
Foto=char(foto(i));
original=imread(Foto);
HSV=rgb2hsv(original);
```

8. Identificação do guarda-corpo

```
Laranja = HSV(:, :, 1) <= 0.1 & HSV(:, :, 3)
>= 0.65;
Arancione= imfill(Laranja,'holes');
Orange=regionprops(Arancione,'BoundingBox','A
rea');
Area=[Orange.Area];
[AreaGuardaCorpo j]=max(Area);
Corte=Orange(j).BoundingBox;
Photo=imcrop(original,Corte);
imshow(Photo);
```

9.Identificação do marcador azul

```
HSB=rgb2hsv(Photo);
Azul = HSB(:, :, 1) >= 0.55;
Azzurro= imfill(Azul,'holes');
Bleu=regionprops(Azzurro,'BoundingBox','Area'
```

10. Identificação do marcador amarelo

```
Amarelo = Photo(:, :, 1) >= 210 & Photo(:, :, 1)
<= 255 & Photo(:, :, 2) >= 190 & Photo(:,:, 2) <=
260 & Photo(:, :, 3) >= 0 & Photo(:, :, 3) <= 70;
Giallo= imfill(Amarelo,'holes');
Jaune=regionprops(Giallo,'BoundingBox','Area');
Area1=[Jaune.Area];
[Yellow k]=max(Area1);
Gelb1 =Jaune(k).BoundingBox;
Jaune(k)=[ ];
Area2=[Jaune.Area];
[Yellow l]=max(Area2);
Gelb2 = Jaune(l).BoundingBox;
if Gelb1(2)<Gelb2(2)
    n1=Gelb1(1)+Gelb1(3)/2;
    n2=Gelb2(1)+Gelb2(3)/2;
    m1=Gelb1(2);
    m2=Gelb2(2)+Gelb1(4);
else
    n2=Gelb1(1)+Gelb1(3)/2;
    n1=Gelb2(1)+Gelb2(3)/2;
    m2=Gelb1(2)+Gelb1(4);
    m1=Gelb2(2);
end
rectangle('Position',[Gelb1(1),Gelb1(2),Gelb1(3),
Gelb1(4)],...
          'EdgeColor','y','LineWidth',1 )
rectangle('Position',[Gelb2(1),Gelb2(2),Gelb2(3),
Gelb2(4)],...
          'EdgeColor','y','LineWidth',1 )
```

11.Cálculo das distâncias

```
if x1>0 & y1>0 & x2>0 & y2>0 & n1>0 & m1>0 & n2>0
& m2>0
line([x1, x2], [y1, y2], 'Color', 'c',
'LineWidth', 1.5);
line([n1, n2], [m1, m2], 'Color', 'm',
'LineWidth', 1.5);
line([x2, n2], [y2, m2], 'Color', 'g',
'LineWidth', 1.5);
% Cálculo das distâncias
Comprimento=20*(x2-x1)/Marcador;
Altura=20*(m2-m1)/Marcador;
Intermediaria=20*(y2-m1)/Marcador+14;
ErroAltura=120-Altura;
ErroIntermediaria=70-Intermediaria;
% Escrever a distância na imagem
C = ['L = ',num2str(Comprimento), ' cm'];
u=x1;
w=y1+Blau1(4)+20;
text(u,w,C, 'FontSize', 11,...
    'Color', 'red',...
    'FontWeight', 'bold');
A = ['H = ',num2str(Altura), ' cm'];
u=n1+Gelb1(3)/2;
w=(m1+y2)/2
text(u,w,A, 'FontSize', 11,...
    'Color', 'red',...
    'FontWeight', 'bold');
I = ['h = ',num2str(Intermediaria), ' cm'];
u=n2+Gelb2(3)/2;
w=(m2+y2)/2;
text(u,w,I, 'FontSize', 11,...
    'Color', 'red',...
    'FontWeight', 'bold');
end
```

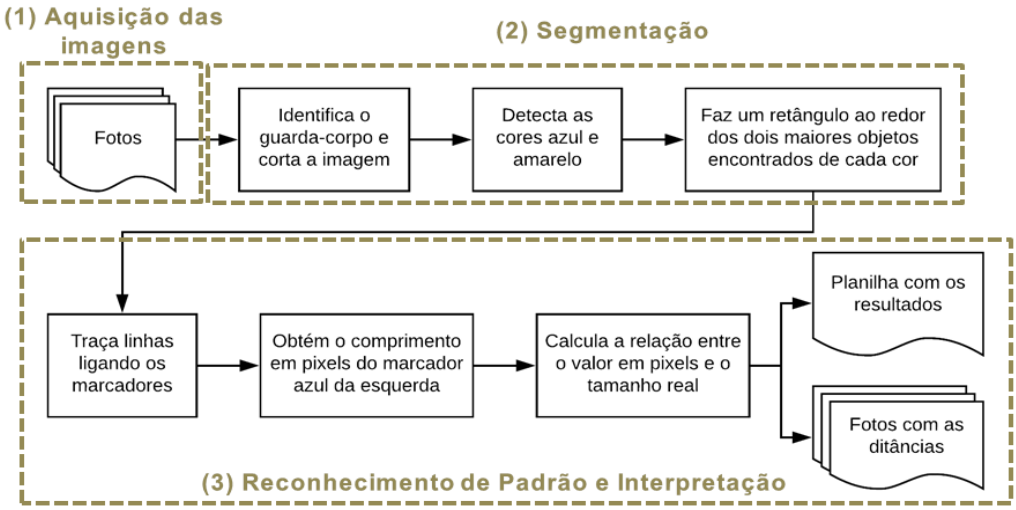
12.Resultados

```
nome=strtok(Foto,'.');
[s,numero]=strtok(nome,'0');
titulo=['Guarda-corpo ',numero];
set(gcf, 'Name', titulo);
nomeFoto=['Guarda-corpo ',numero,'.png'];
print(nomeFoto,'-dpng');
Resultados={numero,Comprimento,Altura,ErroAltura,
Intermediaria,ErroIntermediaria};
e=num2str(i+2);
```

Fonte: Autoras.

O fluxo de trabalho e as principais etapas do sistema proposto são descritas na Figura 2.

Figura 2: Fluxo de trabalho do sistema proposto.



Fonte: Autoras.

2.2 TESTE DO SISTEMA

O teste foi realizado com base em imagens de guarda-corpo confeccionado com marcadores azul e amarelo, pertencentes ao banco de dados do trabalho de Mendes et al. (2018), utilizando o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) do modelo DJI Phanton 3, com câmera acoplada com resolução de 12,4 MP. A utilização dos marcadores foi a solução encontrada por Mendes et al. (2018) para facilitar a mensuração das dimensões pelo algoritmo, e a escolha das cores foi baseada em um cenário de obras, buscando ter o mínimo de semelhança com as elementos presentes.

Na presente pesquisa também foram usadas imagens de guarda-corpo sem marcadores, visando simular o uso deste EPC em obra. Esta coleta foi realizada pelas autoras, utilizando um VANT do modelo DJI Phanton 4 com câmera acoplada com resolução de 20 MP.

Na **aquisição de dados**, Mendes et al. (2018) optou por variar a distância entre o VANT e o EPC (2, 4, 6, 8 e 10 m), e a angulação da câmera (0°, 15° e 30°) para avaliar a precisão do sistema em diferentes tipos de imagens, o que foi repetido na coleta de imagens sem marcador. Além disso, o uso de imagens sem marcadores e com marcadores de diferentes cores buscou avaliar a interferência das cores e do tipo de material na técnica escolhida para o processamento das imagens. O Quadro 1 apresenta um resumo das imagens coletadas.

Quadro 1: Imagens processadas pelo algoritmo.

Distância (m)	Angulação	Nº de Imagens com marcador	Nº de imagens sem marcador
2	0°	55	63
4	0°	74	84
6	0°	55	65
6	15°	54	57
6	30°	48	60
8	0°	70	93
10	0°	63	97
TOTAL		419	519

Fonte: Autoras.

A **segmentação das imagens** consiste em dividi-las em partes ou objetos constituintes (GONZALEZ; WOODS, 2000). Para detectar o guarda-corpo, o sistema lê a matriz HSV e verifica os pixels da foto que estão na faixa de valores que correspondem a cor laranja. As coordenadas do maior retângulo que contém todos os pontos laranja são usadas para cortar a imagem, de forma que apenas o EPC permaneça (Figura 3), evitando que informações da paisagem interfiram na extração das características desejadas.

A segmentação dos marcadores é efetuada pela detecção de descontinuidades ou de similaridades, a partir das cores definidas para cada marcador e para o guarda-corpo. O sistema reconhece os dois maiores retângulos na cor azul (Figura 4A). O comprimento em pixels do marcador é salvo em uma variável para servir de referência de tamanho. O processo para identificar os marcadores amarelos é similar.

Nas imagens sem marcadores, para obter a área principal onde serão extraídas as distâncias do rodapé e travessão intermediário, as imagens são transformadas para a escala em cinza, e é reconhecido o maior retângulo preto. Para a altura total, o filtro utilizado elimina a cor laranja da imagem, e o sistema reconhece o retângulo com maior altura na cor bege (Figura 4B).

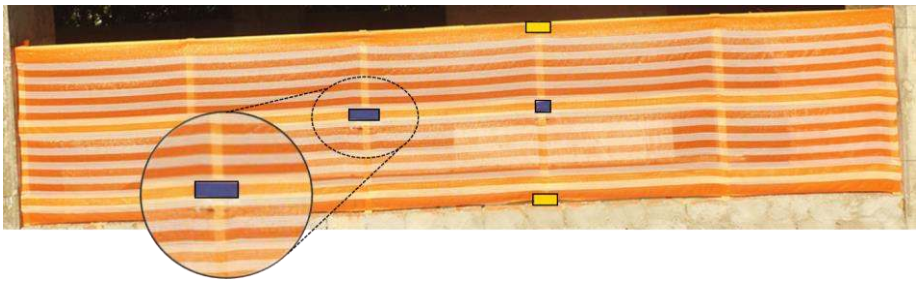
Figura 3: Detecção do guarda-corpo.



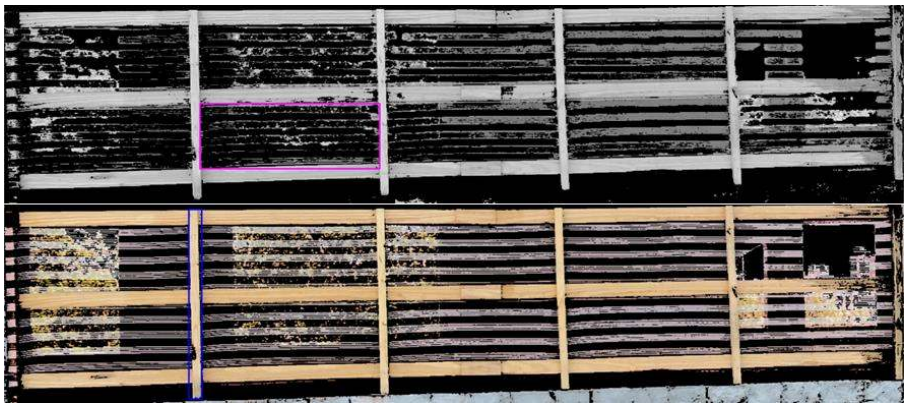
(A) (B)

Fonte: Autoras.

Figura 4: Detecção (A) dos marcadores e (B) das áreas de interesse.



(A)

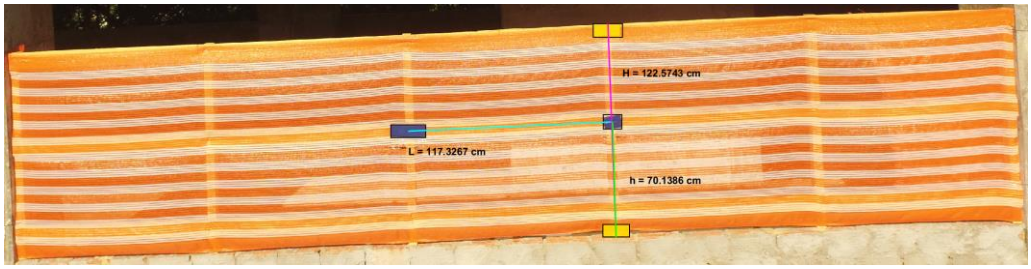


(B)

Fonte: Autoras.

O **reconhecimento** é quando se atribui rótulos a um objeto com base nas informações extraídas nas fases anteriores, e através da interpretação atribui-se significado aos objetos reconhecidos (GONZALEZ; WOODS, 2000). Nesta etapa são calculadas as dimensões reais desejadas em relação ao tamanho do pixel. Por fim, o sistema apresenta os resultados em uma planilha em Excel, e em imagens com as dimensões identificadas (Figura 5).

Figura 5: Imagem final do guarda-corpo (A) com marcador e (B) sem marcador.



(A)



(B)

Fonte: Autoras.

2.3 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

O sistema proposto foi avaliado em termos de precisão da informação gerada, através das diferentes imagens, sendo possível analisar a acurácia do sistema para diferentes ângulos e distâncias entre o VANT e o EPC na identificação de padrões, verificando também a influência do uso de marcadores nos resultados.

3 RESULTADOS

Na análise da precisão do sistema de inspeção de guarda-corpo foram processadas 419 imagens do banco de dados e 519 imagens coletadas nesta pesquisa. O algoritmo foi capaz de processar todas as imagens em conjunto, acelerando o processo de verificação e aproximando a inspeção de um sistema automatizado.

Todas as imagens com marcador foram processadas sem erros de reconhecimento, porém 12 imagens sem marcador foram descartadas das análises, representando aproximadamente 2% do total coletado. Não há evidências de que a falha de processamento esteja atrelada a alguma distância ou angulação específica.

Os Quadros 2 e 3 apresentam os resultados médios das dimensões encontradas para cada distância entre o VANT e o guarda-corpo com e sem marcador, respectivamente. Para esta análise fixou-se a angulação da câmera em 0º, variando-se apenas a distância. Observou-se que com 2,00m o sistema apresentou os maiores erros, chegando a uma distorção de 5% das medidas reais do guarda-corpo com marcador, e 9% sem marcador. A distância de 10,00m também apresentou um erro expressivo de 7% quando analisada em imagens sem marcadores. Entretanto, as demais distâncias mantiveram-se com erro máximo de 3%, sendo este um resultado considerado satisfatório neste estudo. O sistema pareceu ser mais adequado e confiável para imagens obtidas a distâncias entre 4,00m e 8,00m.

Quadro 2: Resultado médio das dimensões do Guarda-corpo **com marcador**.

Distância (m)	Montante - Montante (L)			Altura total (H)			Travessão Intermediário (h)		
	Média	Erro médio		Média	Erro médio		Média	Erro médio	
	cm	cm	%	cm	cm	%	cm	cm	%
2	114,21	2,79	2%	115,64	4,36	4%	66,68	3,35	5%
4	117,47	0,47	0%	121,27	1,27	1%	69,45	0,55	1%
6	118,17	1,17	1%	122,06	2,06	2%	69,74	0,26	0%
8	117,97	0,97	1%	121,15	1,15	1%	69,28	0,72	1%
10	118,9	1,9	2%	121,86	1,86	2%	69,73	0,27	0%

Fonte: Autoras.

Quadro 3: Resultado médio das dimensões do Guarda-corpo **sem marcador**.

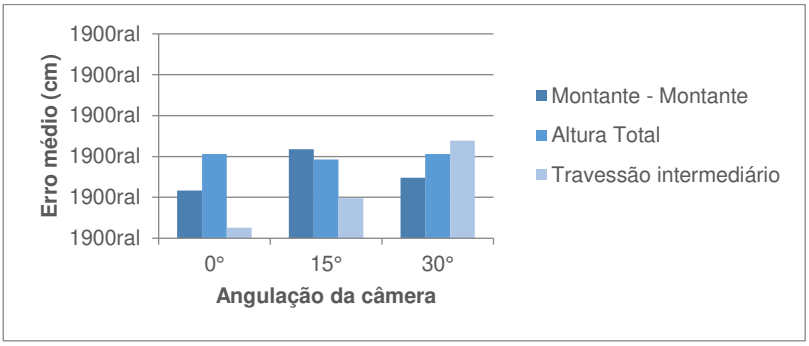
Distância (m)	Montante - Montante (L)			Altura total (H)			Travessão Intermediário (h)		
	Média	Erro médio		Média	Erro médio		Média	Erro médio	
	cm	cm	%	cm	cm	%	cm	cm	%
2,00	117,53	0,53	0%	129,15	9,15	8%	75,96	5,96	9%
4,00	113,57	3,43	3%	119,19	0,81	1%	70,94	0,94	1%
6,00	118,84	1,84	2%	118,79	1,21	1%	72,34	2,34	3%
8,00	117,07	0,07	0%	118,71	1,29	1%	71,19	1,19	2%
10,00	117,37	0,37	0%	113,11	6,89	6%	65,31	4,69	7%

Fonte: Autoras.

Os Gráficos 1 e 2 apresentam os erros médios em centímetro obtidos para cada medida em angulações diferentes da câmera, fixando a distância em 6m. Nota-se que o ângulo 30° apresenta maiores erros de medida em ambos os gráficos. Observa-se também que a angulação da câmera influência de forma mais acentuada os resultados do guarda-corpo sem marcador, já que há uma maior variação dos erros para cada ângulo analisado.

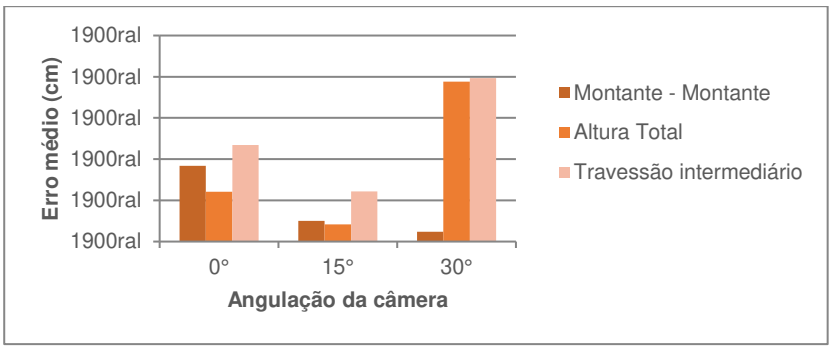
Apesar dos erros encontrados para todas as análises terem sido inferiores a 4,00cm, as angulações da câmera em 0º e 15° aparentam ser mais adequadas para a inspeção por reconhecimento de imagem.

Gráfico 1: Angulação da câmera X Erro médio (cm) - **com** marcador.



Fonte: Autoras.

Gráfico 2: Angulação da câmera X Erro médio (cm) - **sem** marcador.



Fonte: Autoras.

4 CONCLUSÕES

O sistema automatizado de inspeção de guarda-corpo com marcador mostrou-se eficaz ao gerar informações com erro máximo de 5% aos 2,00m e erros inferiores a 2% nas demais distâncias. As imagens de guarda-corpo sem marcador apresentaram um erro expressivo de 9% em 2,00m, porém nas distâncias entre 4,00m e 8,00m apresentaram o máximo de 3% de distorção. Aparentemente o uso de marcadores favorece a acurácia

do sistema, porém, em termos de aplicabilidade em obras, acredita-se que o sistema será mais facilmente aplicado se não for preciso utilizar o marcador, pois não haverá necessidade de inserção de novas etapas do processo de instalação do EPC. Portanto, acredita-se que os melhores resultados para a segurança podem ser obtidos utilizando o sistema de inspeção para guarda-corpos sem marcadores, com imagens obtidas com distância entre 4,00m e 8,00m, e angulação da câmera em 15°.

Dentre as principais barreiras destacam-se a reflexão da luz solar na etapa de processamento, o processamento das imagens incialmente utilizou-se o sistema RGB para o reconhecimento de todos os elementos, porém os marcadores azuis apresentavam erros grosseiros de identificação. Devido ao reflexo da luz solar, o algoritmo entendia que um marcador eram dois objetos diferentes, distorcendo fortemente as dimensões. Utilizando o sistema de cores HSV foi possível regular a luminosidade da imagem, corrigindo o problema de reflexão do sol, entretanto o mesmo não foi eficaz para distinguir o guarda-corpo laranja do marcador amarelo, por isso utilizou-se o RGB para esses elementos. Aplicando o sistema de cores adequado para cada marcador, a diferença entre os erros das medidas obtidas foi indiferente, ambas próximas a 0,40cm, ou seja, não há preferências entre os tipos de marcador utilizados. Novos estudos estão sendo desenvolvidos, no qual com base nos resultados deste trabalho acredita-se que o uso de sistemas de inspeção automatizado pode contribuir no processo de tomada de decisão, reduzindo a exposição do trabalhador em áreas inseguras, tendo em vista a conformidade das proteções coletivas.

REFERÊNCIAS

AGUILAR, G. E.; HEWAGE, K. N. IT based system for construction safety management and monitoring: C-RTICS2. **Automation in Construction**: v.35, p. 217-228, 2013.

CORREA, F. R. Cyber-physical systems for construction industry. In: **2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)**, May, 2018. Proceedings... IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS), p. 392-397, 2018.

CHI, N.-W.; LIN, K-Y.; EL- GOHARY, N.; HSIEH, S-H. Evaluating the strength of text classification categories for supporting construction field inspection. Automation in Construction, v. 64, p. 78-88, 2016.

ESQUEF, I.A.; ALBUQUERQUE, M.P.; ALBUQUERQUE, M.P. **Processamento Digital de Imagens**. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, Centro Brasileiro de Pesquisas FÍsicas – CBPF, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: http://www.cbpf.br/cat/pdsi/pdf/cap3webfinal.pdf

FINNERAN, A.; GIBB, A. W099: safety and health in construction: research roadmap report for consultation. CIB - International Council for Research and Innovation in Building and Construction, 2013. ISBN: 978-90-6363-078-2.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. R. **Processamento de Imagens Digitais**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2000, 509p.

GUO, H.; YU, Y; SKITMORE, M. Visualization technology-based construction safety management: A review. **Automation in Construction**, v. 73, p 135-144, 2017.

LIN, K.-Y.; TSAI, M.-H.; GATTI, U.C.; LIN, J.J.-C.; LEE, C.-H.; KANG, S.-C. A user-centered Information and Communication Technology (ICT) tool to improve safety inspections. **Automation in Construction**. v. 48, p. 53-63, 2014

MELO, R. R. S; COSTA, D. B.; ÁLVARES, J. S.; IRIZARRY, J. Applicability of unmanned aerial system (UAS) for safety inspection on construction sites. **Safety science**, v.98, p.174-185, 2017.

MENDES, C. M.; SILVEIRA, B F.; COSTA, D. B.; MELO, R. R. S. Evaluating UAS-Image Pattern Recognition System application for safety guardrails inspection. In:**Joint CIB W099 and TG59 Conference**, 2018, Salvador. Proceedings...Salvador: Marketing Aumentado, 2018. p. 23-32.

SEO, J.; HAN, S.; LEE,S.; KIM,H. Computer vision techniques for construction safety and health monitoring. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, p. 239–251, 2015.

SIDDULA, M.; DAI, F.; Ye, Y.; FAN, J. Classifying construction site photos for roof detection: A machine-learning method towards automated measurement of safety performance on roof sites. **Construction Innovation**, v.16(3), p.368-389, 2016.

Shaping the Future of Construction: Inspiring innovators redefine the industry. Davos: World Economic Forum, 2017.

ZHANG, H.; CHI, S.; YANG, J.; NEPAL, M.; MOON, S. Development of a safety inspection framework on construction sites using mobile computing**. Journal of Management in Engineering**, v. 33(3), 2016. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-479.0000495

ZHOU, C.; LUO, H.; FANG, W.; WEI, R.; DING, L. Cyber-physical-system-based safety monitoring for blind hoisting with the internet of things: A case study. **Automation in Construction**, v.97, p.138-150, 2019.