**FACULDADE PROMINAS**

**FELIPE AUGUSTO DA SILVA MENDONÇA**

**ANÁLISE E PROPOSIÇÃO DE FERRAMENTAS BASEADAS EM VISÃO COMPUTACIONAL E APRENDIZADO PROFUNDO PARA VERIFICAÇÃO DE NÃO CONFORMIDADE NO USO DE EPI NOS CANTEIROS DE OBRA**

**RECIFE – PE**

**2023**

**FACULDADE PROMINAS**

**FELIPE AUGUSTO DA SILVA MENDONÇA**

**ANÁLISE E PROPOSIÇÃO DE FERRAMENTAS BASEADAS EM VISÃO COMPUTACIONAL E APRENDIZADO PROFUNDO PARA VERIFICAÇÃO DE NÃO CONFORMIDADE NO USO DE EPI NOS CANTEIROS DE OBRA**

Artigo Científico apresentado à Faculdade Prominas, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro de Segurança do Trabalho.

**RECIFE – PE**

**2023**

**ANÁLISE E PROPOSIÇÃO DE FERRAMENTAS BASEADAS EM VISÃO COMPUTACIONAL E APRENDIZADO PROFUNDO PARA VERIFICAÇÃO DE NÃO CONFORMIDADE NO USO DE EPI NOS CANTEIROS DE OBRA**

Felipe Augusto da Silva Mendonça

**RESUMO**

Este trabalho apresenta a análise e proposição de uma ferramenta baseada em visão computacional e aprendizado que permite um monitoramento quanto a não conformidade no uso do equipamento de proteção individual nos canteiros de obra. As ferramentas propostas utilizam normalmente ferramentas baseadas na arquitetura YOLO e utiliza de treinamentos de redes neurais para a detecção de objetos. As pesquisas indicaram que algumas ferramentas já desenvolvidas apresentam uma taxa de precisão média máxima de aproximadamente 90%, sendo esse um número bastante interessante para aplicação nos canteiros de obras. A ferramenta proposta é baseada no Ultralytics YOLOv8, com o treinamento sendo realizado com o auxílio da plataforma Roboflow. A ferramenta proposta deverá ser utilizada na entrada dos canteiros de obras, para uma validação inicial, e posteriormente seria aplicada no interior da obra, para que fosse feita uma validação da não conformidade ainda mais confiável.

**Palavras chave:** Visão computacional. Equipamento de proteção individual. Canteiros de obra. Palavra 4. Palavra 5.

**1. Introdução**

A obrigatoriedade no cumprimento das leis relativas à Segurança e Medicina no Trabalho e a disseminação de informações sobre prevenção dos riscos relacionados a acidentes e doenças ocupacionais, juntamente com o avanço das inovações tecnológicas, evidenciam que ferramentas que auxiliam na segurança são de extrema importância para melhorar a qualidade de vida no ambiente de trabalho como um todo. A fim de atender a legislação e garantir a saúde de seus profissionais, evitando o abstencionismo, as empresas tendem a buscar diminuir a exposição de seus funcionários aos riscos inerentes ao trabalho, como também a correta utilização de todos os Equipamentos de Proteção Individual (EPI), pertinentes a cada etapa do processo de trabalho (ATAMANCZUK, 2008).

Segundo a Norma Regulamentadora (NR) de número 6, é de responsabilidade do empregador fornecer o equipamento de proteção individual sempre que houver necessidade e observar-lhe a utilização no dia a dia, além de aplicar aos colaboradores um treinamento para que os mesmos tenham conhecimento de como manusear o EPI sempre que for necessário (MTE, 2022).

Como um exemplo, é válido citar o setor da construção civil, que é conhecido pela elevada incidência de acidentes de trabalho, tendo em vista que são vários os riscos que envolvem essa atividade laboral. Obviamente, cada atividade profissional tem seus próprios problemas de segurança e assim, cada uma deverá ter um programa de segurança elaborado seguindo as normas legais. Ainda na construção civil, a equipe de trabalho desde os serventes, passando pelos técnicos, até os engenheiros tem papel fundamental no processo de segurança e deverá contribuir fortemente com o uso dos EPI’s. Por isso, torna-se necessário ações no canteiro de obra que facilite e reforce ainda mais o uso do EPI, tendo um dos caminhos para isso a aplicação de novas tecnologias, como o uso de visão computacional.

Atualmente, o uso de tecnologias computacionais, como a visão computacional, como ferramenta de auxílio na segurança do trabalho vem crescendo a cada dia. Nath, Behzadan e Paal (2020) em seu trabalho, apresenta três modelos de aprendizado profundo (Deep Learning, DL) construídos na arquitetura You-Only-Look-Once (YOLO) para verificar o uso do EPI pelos trabalhadores, ou seja, se um trabalhador está usando capacete, colete ou ambos, através de uma câmera em tempo real. Protik, Rafi e Siddique (2021) em seu artigo desenvolveu um detector que pode detectar em tempo real se as pessoas estão usando EPI ou não. O detector é desenvolvido usando o modelo de visão computacional YOLOv4.

Com esse cenário em vista, o presente trabalho, inicialmente, propõe-se a estudar algumas ferramentas existentes baseadas em visão computacional, para auxiliar, a partir da detecção da ausência do EPI, o reforço do uso do mesmo. Posteriormente, o trabalho busca propor o uso dessas ferramentas pesquisadas nos postos de trabalho, como na construção civil, para uma melhor adesão do uso do equipamento de proteção individual e consequentemente uma diminuição nos acidentes de trabalho.

**2. Desenvolvimento**

O desenvolvimento desse trabalho se dará em duas etapas. A primeira etapa é a de revisão bibliográfica, na qual inicialmente contemplará uma breve explanação sobre a Norma Regulamentadora de número 6, além de introduzir a visão computacional e o aprendizado profundo. Posteriormente, o trabalho abordará a cerca das ferramentas existentes baseadas em visão computacional e aprendizado profundo para aplicação na detecção de conformidade no uso de EPI. A segunda etapa do desenvolvimento é a proposta de aplicação dessas ferramentas pesquisadas nos postos de trabalhos.

**2.1 Revisão Bibliográfica**

2.1.1 Norma Regulamentadora No. 6 (NR-6)

Segundo o ministério do trabalho e emprego (MTE), as normas regulamentadoras foram originalmente editadas pela Portaria MTb nº 3.214, de 08 de junho de 1978, de forma a regulamentar os artigos 166 e 167 da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), conforme redação dada pela Lei n.º 6.514, de 22 de dezembro de 1977, que alterou o Capítulo V (da Segurança e da Medicina do Trabalho) do Título II da CLT.

Ainda segundo o MTE (2022), a NR-6, é norma especial, posto que regulamenta a execução do trabalho com uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), sem estar condicionada a setores ou atividades econômicas específicas. Essa norma visa estabelecer os requisitos para aprovação, comercialização, fornecimento e utilização de Equipamentos de Proteção Individual - EPI. As disposições desta NR se aplicam às organizações que adquiram EPI, aos trabalhadores que os utilizam, assim como aos fabricantes e importadores de EPI.

A NR-6 define EPI como sendo o dispositivo ou produto de uso individual utilizado pelo trabalhador, concebido e fabricado para oferecer proteção contra os riscos ocupacionais existentes no ambiente de trabalho, conforme previsto no Anexo I. A norma também define que as informações e treinamentos referidos na NR devem atender às disposições da NR-01 (MTE, 2022).

2.1.2 Visão Computacional

A visão computacional é um dos ramos da inteligência artificial que estuda o processamento de imagens do mundo real por um computador. Em outras palavras, essa área investiga maneiras de dar às máquinas a capacidade de interpretar visualmente informações. Szeliski (2010) trás uma definição de visão computacional como sendo a área do conhecimento que visa reproduzir a capacidade da visão humana de extrair características das imagens, permitindo assim interpretar e descrever essas imagens e os elementos presentes. Em outras palavras, esta área investiga maneiras de dar às máquinas a capacidade de interpretar informações visualmente.

A maioria das aplicações que utilizam visão computacional depende da realização de diversos pré-processamentos para processar a imagem de entrada, a fim de extrair ou identificar os elementos de interesse por meio de algoritmos teorizados e desenvolvidos por estudiosos da área. Segundo Szeliski (2010), a visão computacional é composta por subáreas, cada uma com seus grupos de técnicas, utilizadas por sistemas que possuem imagens ou vídeos como entrada, detecção e reconhecimento de imagem. Dentre as subáreas é válido citar o Processamento de Imagens, a Segmentação, e a Detecção .

O processamento de imagem é a etapa normalmente realizada durante a fase de pré-processamento de um sistema de visão computacional, assim, é uma técnica utilizada antes de quaisquer outras técnicas. O processamento de imagem tem como objetivo preparar e corrigir a imagem quanto ao posicionamento, cores, brilho, contraste, ruídos, entre outros. A segmentação de elementos em uma imagem é caracterizada pelo agrupamento dos pixels que possuem características semelhantes, criando vários segmentos. Isto é feito para que as análises e operações possam ser executadas de formas diferentes sobre esses grupos. O processo de segmentação pode ser realizado após uma detecção de bordas e extração do elemento desejado da imagem.

A tarefa de detectar elementos em uma imagem é muito utilizada nas aplicações de visão computacional. Os algoritmos de detecção de bordas, de pontos característicos, de face, entre outros, são utilizados para localizar e delimitar o elemento foco de uma análise ou extração, para então realizar as operações desejadas sobre o ponto ou área detectada. Uma ferramenta importante usada na visão computacional, para auxiliar na detecção de objetos é o aprendizado profundo.

2.1.3 Aprendizado Profundo

Segundo Lecun, Bengio e Hinton (2015) O Aprendizado Profundo permite que modelos computacionais compostos por múltiplas camadas de processamento aprendam representações de dados com múltiplos níveis de abstração. Esses métodos melhoraram drasticamente o estado da arte em reconhecimento de fala, reconhecimento de objetos visuais, detecção de objetos em muitos outros domínios, como detecção de EPI’s em um canteiro de obra. O aprendizado profundo visa descobrir uma estrutura complexa em grandes conjuntos de dados usando o algoritmo de *backpropagation* para indicar como uma máquina deve alterar seus parâmetros internos que são usados para calcular a representação em cada camada a partir da representação na camada anterior.   
 Como já citado, uma das maiores áreas de aplicação do aprendizado profundo é na detecção de objetos. Onde define-se detecção de objetos como o processo de detecção de instâncias de objetos semânticos de uma determinada classe (como humanos, aviões ou pássaros) em imagens e vídeos digitais. Boa parte dos métodos usados geralmente seguem uma abordagem de detecção de objeto semântica de segmentação conjunta, alcançando bons resultados. Neste trabalho, o enfoque vai ser na detecção de EPI’s, como capacete, colete e óculos de proteção (VOULODIMOS *et al*, 2018).

2.1.4 Estado da arte

Nesse tópico serão abordados inicialmente trabalhos que envolvem visão computacional aplicado a segurança no trabalho como um todo, posteriormente serão abordados soluções para a detecção de EPI’s, e por fim serão abordadas soluções que utilizam somente a detecção de capacetes.

Guo et al (2015) em seu artigo, sugere uma estrutura de desenvolvimento de visão computacional de três níveis, que foi proposta para categorizar aplicações de visão computacional na indústria da construção. No trabalho foram discutidas as ligações entre visão computacional e três principais tradições de pesquisa em segurança: sistema de gestão de segurança, programa de segurança baseado em comportamento e cultura de segurança. Em seu trabalho Zaki et al (2013) demonstra uma técnica de diagnóstico automatizado de segurança de questões de segurança em travessias de pedestres por meio de técnicas de visão computacional. O diagnóstico de segurança automatizado é aplicado em um grande cruzamento sinalizado no centro de Vancouver, no Canadá, no qual foram levantadas preocupações sobre a alta taxa de conflito entre veículos e pedestres, bem como o elevado número de infrações de trânsito.

Os canteiros de obras tornam o monitoramento eficiente extremamente tedioso e difícil devido à desordem e à desordem. Fang et al (2020) em seu artigo, revisa os desenvolvimentos de estudos de visão computacional usados para identificar comportamentos inseguros a partir de imagens 2D que surgem em canteiros de obras. Em seguida, à luz dos avanços obtidos com o aprendizado profundo, eles examinam e discutem a integração dessas ferramentas de a visão computacional para dar suporte a um programa de segurança baseada em comportamento. Xu et al (2021) em seu artigo revisa estudos sobre visão computacional na última década, com foco em métodos de última geração em um esquema típico baseado em visão, e discute os desafios associados à sua aplicação.

A construção civil é considerada uma das indústrias mais perigosas e é responsável por grande parte dos acidentes de trabalho, inclusive acidentes fatais. Assim, as empresas devem assegurar que os seus trabalhadores utilizem EPI, nomeadamente capacetes, se estiverem em risco de queda, de serem atingidos por objetos caídos, de baterem a cabeça em objetos estáticos ou de se aproximarem de riscos elétricos. No entanto, o monitoramento da presença e do uso adequado dos capacetes torna-se ineficiente quando os agentes de segurança precisam vistoriar grandes áreas e um número considerável de trabalhadores. Através de imagens capturadas nos locais de trabalho internos, (MNEYMNEH, ABBAS e KHOURY, 2018) em seu trabalho avalia as técnicas de visão computacional existentes, ou seja, detecção de objetos e ferramentas de segmentação baseadas em cores, usadas para detectar rapidamente se os trabalhadores estão usando capacetes.

Seguindo essa linha onde usa-se visão computacional para assegurar que os seus trabalhadores utilizem EPI, Nath, Behzadan e Paal (2020) em seu artigo apresenta modelos de aprendizagem profunda construídos na arquitetura YOLO para verificar a conformidade dos trabalhadores com EPIs. Em uma das abordagens, o algoritmo detecta trabalhadores, chapéus e coletes e, em seguida, um modelo de aprendizado de máquina (por exemplo, rede neural e árvore de decisão) verifica se cada trabalhador detectado está usando corretamente chapéu ou colete. Na segunda abordagem, o algoritmo detecta simultaneamente trabalhadores individuais e verifica a conformidade do EPI. Ainda usando abordagens baseadas em YOLO, Kumar et al (2022) apresenta uma nova abordagem para a detecção de incêndio e EPIs para auxilio nas tarefas de monitoramento e evacuação. Os autores utiliza o YOLOv4 para a realização da tarefa de detecção. Um conjunto de dados auto fabricado foi utilizado para treinar o modelo na estrutura de redes neurais da Darknet. Os resultados verificam a força do algoritmo YOLOv4 na detecção e vigilância em tempo real em canteiros de obras com precisão média máxima de 76,86 %.

Nath, Behzadan e Paal (2020) em um outro artigo, usa uma técnica, no qual uma imagem de consulta de um trabalhador da construção civil com EPI desconhecido é comparada com uma série de imagens de galeria de trabalhadores da construção civil com diferentes combinações de EPIs conhecidos (por exemplo, sem capacete ou colete, apenas capacete, apenas colete e capacete e colete). Em seguida, a partir das informações de EPI conhecidas (por exemplo, tipo e cor) nas imagens de galeria mais bem combinadas, as informações sobre EPI na imagem de consulta são inferidas. O modelo proposto é treinado e testado em um conjunto de dados interno contendo 3.309 imagens de trabalhadores da construção civil. Os resultados mostram que o método proposto é capaz de identificar componentes de EPI com 90% de precisão, e cores desses componentes com 77% de precisão.

Wang et al (2021) apresenta em seu trabalho uma abordagem para treinar e avaliar oito detectores de aprendizagem profunda, para fins de aplicação real, com base em arquiteturas YOLO para seis classes, incluindo capacetes com quatro cores, pessoa e colete. Enquanto isso, um conjunto de dados dedicado de alta qualidade, com 1330 imagens, é construído considerando o fundo real do canteiro de obras, diferentes gestos, ângulos e distâncias variados e várias classes de EPIs. O resultado da comparação entre os modelos mostram que o YOLOv5x tem o melhor precisão média máxima, com 86,55%.

Focando mais em ferramentas voltadas para a detecção de capacetes, é valido citar o trabalho de Benyang, Xiaochun e Miao (2020) aplica uma estratégia de treinamento baseado no YOLO v4, para melhorar a adaptabilidade do modelo treinado a partir de diferentes escalas de detecção. Os resultados mostram que, na tarefa de detecção do uso do capacete, o valor de precisão média máxima do modelo atingiu 92,89%, que satisfaz os requisitos em tempo real da tarefa de detecção do capacete. Afim de estabelecer um sistema de monitoramento digital de capacetes de segurança, os autores (Zhou, Zhao e Nie; 2021) propõe um método de detecção de capacete de segurança baseado no YOLOv5, onde foram anotados 6045 imagens coletados. Resultados mostram que a o precisão média máxima do YOLOv5x atinge 94,7%.

Hayat e Morgado (2022) em seu artigo apresenta um sistema de detecção automática de capacete de segurança baseado em visão computacional em tempo real baseado em visão computacional em um canteiro de obras. A arquitetura YOLO é utilizada para detecção e um conjunto de dados de referência contendo 5000 imagens de capacetes foram utilizados neste trabalho, que foi dividido em uma proporção de 60:20:20 (%) para treinamento, teste e validação, respectivamente. Os resultados experimentais mostraram que a arquitetura YOLOv5x alcançou a melhor precisão média máxima de 92,44%, mostrando excelentes resultados na detecção de capacetes de segurança mesmo em condições de pouca luz. Jin et al (2021) em seu artigo obteve resultados experimentais que mostram o seguinte: no conjunto de dados de detecção de uso de capacete de segurança, a taxa média de precisão atingiu 95,9%, a precisão média da detecção do capacete atingiu 96,5% e a precisão média da detecção da cabeça do trabalhador atingiu 95,2%. Fazendo uma comparação com o algoritmo YOLOv5, o modelo proposto tem um aumento de 3% na precisão média de detecção de capacete.

2.2 Proposição da Ferramenta

Com tudo isso em mente, torna-se necessário uma ferramenta de detecção para verificação de não conformidade no uso de EPI baseada em visão computacional e YOLO para aplicação nos postos de trabalho, mais especificamente nos canteiros de obra. Essa ferramenta, tem o intuito de ser de fácil desenvolvimento e aplicação, tendo em vista que um canteiro de obras não dispõe de grande infraestrutura. A ferramenta proposta é um sistema de monitoramento em tempo real, composto por circuito de câmera e computador de processamento, colocado na entrada do canteiro de obra e dentro do canteiro de obra, com o intuito de detectar se o trabalhador está sem o capacete de segurança. Inicialmente, a ferramenta proposta abrange somente um tipo de EPI, porém, depois da construção e validação, esse número de EPIs seria expandido, abrangendo coletes de sinalização, óculos e etc.

A ferramenta de detecção proposta, como as citadas na parte de revisão bibliográfica, se baseia no uso da arquitetura YOLO, através do YOLOv8. O YOLOv8 é construído com base em avanços de ponta em aprendizado profundo e visão computacional, oferecendo desempenho incomparável em termos de velocidade e precisão. A escolha do YOLO como ferramenta de detecção se dá pela possibilidade de desenvolvimento em Python, que é uma linguagem de desenvolvimento open-source bastante difundida na área de visão computacional e aprendizado profundo, se deu tambem pela fácil integração da ferramenta através da biblioteca em python chamada Ultraliytics. Outro ponto positivo ao usar o Ultralytics YOLOv8 é que atraves da plataforma chamada Roboflow, é possível ter acesso a vários datasets pré-treinados, sendo possível exportar esses treinamentos e usar, poupando tempo considerável no processo de desenvolvimento e testes.

Após a construção da ferramenta de detecção, é a etapa de definição do arranjo físico, onde seria definido onde seriam colocadas as câmeras dentro do canteiro de obra, para a captação das imagens. Como citado, uma das câmeras seria na entrada do canteiro, para ser possível se certificar que o colaborador está em conformidade quanto ao uso do EPI. Essa câmera seria responsável por captar a imagem que o sistema de detecção usaria para detectar a presença ou não do EPI. Após a detecção da não conformidade, soaria um alerta para o funcionário, para que o mesmo entre em conformidade quanto ao EPI. As demais câmeras seriam para fazer essa varredura geral e impedir que, por exemplo, um descuido por parte do colaborador, impeça que ele esteja sem o EPI.

**Conclusão**

Depois de toda a pesquisa realizada acerca das tecnologias e ferramentas utilizadas para a detecção da não conformidade no uso do EPI, é importante frisar que as pesquisas realizadas já estão com um certo nível de maturidade, tendo diversas aplicações, embora este trabalho tenha focado nas que utilizam YOLO, obtendo em alguns casos 95% de sucesso na detecção. Isso é de extrema importância pois abre ainda mais uma possibilidade de auxilio no aumento da segurança nos canteiros de obras, tendo a possibilidade de aplicação a médio prazo dessas tecnologias. Assim, é válido citar que os objetivos dessa pesquisa foi alcançado através da revisão bibliográfica realizada e da ferramenta proposta, ferramenta com uma fácil implementação tendo em vista os motivos citados anteriormente.

Como sugestão de trabalhos futuros fica a construção e validação da ferramenta utilizando as tecnologias citadas e a aplicação da mesma em um canteiro de obras para a realização de testes. Com isso, seria possível uma avaliação mais detalhada, tendo em vista que a maioria dos trabalhos citados foram desenvolvidos somente no âmbito da detecção, e uma pesquisa voltada para as melhorias causadas pela aplicação desse tipo de ferramenta, seria bastante interessante. Além disso, seria interessante uma análise comportamental, voltada para os colaboradores, para avaliar os impactos de um monitoramento dessa natureza.

**REFERÊNCIAS**

ATAMANCZUK, Maurício João. **Segurança no trabalho: uso de EPI**. Encontro de engenharia e tecnologias dos campos gerais, 2008.

BENYANG, D.; XIAOCHUN, L.; MIAO, Y.**Safety helmet detection method based on YOLO v4.** 2020 16th International Conference on Computational Intelligence and Security (CIS). Anais...IEEE, 2020.

FANG, W. et al. **Computer vision for behaviour-based safety in construction: A review and future directions.** Advanced engineering informatics, v. 43, n. 100980, p. 100980, 2020.

GUO, B. H. W. et al. **Computer vision technologies for safety science and management in construction: A critical review and future research directions**. Safety science, v. 135, n. 105130, p. 105130, 2021.

HAYAT, A.; MORGADO-DIAS, F. **Deep learning-based automatic safety helmet detection system for construction safety**. Applied sciences (Basel, Switzerland), v. 12, n. 16, p. 8268, 2022.

JIN, Z. et al. **DWCA-YOLOv5: An improve single shot detector for safety helmet detection.** Journal of sensors, v. 2021, p. 1–12, 2021.

KUMAR, S. et al. YOLOv4 algorithm for the real-time detection of fire and personal protective equipments at construction sites. Multimedia tools and applications, v. 81, n. 16, p. 22163–22183, 2022.

LECUN, Yann; BENGIO, Yoshua; HINTON, Geoffrey. **Deep learning**. nature, v. 521, n. 7553, p. 436-444, 2015.

MTE,Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora No. 6 (NR-6)**. Disponível em:<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-6-nr-6>. Portaria MTP 2.175, de 28/07/2022. Acesso em: 10 jul. 2023.

MNEYMNEH, B. E.; ABBAS, M.; KHOURY, H. **Evaluation of computer vision techniques for automated hardhat detection in indoor construction safety applications**. Frontiers of engineering management, v. 0, n. 0, p. 0, 2018.

NATH, N. D.; BEHZADAN, A. H.; PAAL, S. G. **Deep learning for site safety: Real-time detection of personal protective equipment**. Automation in construction, v. 112, n. 103085, p. 103085, 2020.

NATH, N. D.; BEHZADAN, A. H.; PAAL, S. G. **Deep learning for site safety: Real-time detection of personal protective equipment.** Automation in construction, v. 112, n. 103085, p. 103085, 2020.

PROTIK, A. A.; RAFI, A. H.; SIDDIQUE, S. Real-time personal protective equipment (PPE) detection using YOLOv4 and TensorFlow. 2021 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP). Anais...IEEE, 2021.

SZELISKI, R. **Computer vision: Algorithms and applications.** Cham, Switzerland: Springer Nature, 2022.

VOULODIMOS, A. et al. **Deep learning for computer vision: A brief review.** Computational intelligence and neuroscience, v. 2018, p. 7068349, 2018.

WANG, Z. et al. **Fast Personal Protective Equipment detection for real construction sites using deep learning approaches.** Sensors (Basel, Switzerland), v. 21, n. 10, p. 3478, 2021.

XU, S. et al. **Computer vision techniques in construction: A critical review**. Archives of Computational Methods in Engineering. State of the Art Reviews, v. 28, n. 5, p. 3383–3397, 2021.

ZAKI, M. H. et al. **Application of computer vision to diagnosis of pedestrian safety issues.** Transportation research record, v. 2393, n. 1, p. 75–84, 2013.

ZHOU, F.; ZHAO, H.; NIE, Z. **Safety helmet detection based on YOLOv5.** 2021 IEEE International Conference on Power Electronics, Computer Applications (ICPECA). Anais...IEEE, 2021.