



# Análise e Inspeção dos Padrões de Segurança por Inteligência Artificial – Plataforma Digital Integrada aplicadas às Regras de Ouro da COPEL

**Tema:** Tecnologias Emergentes

**Autores:** Luiz Henrique Leite Rosa; Carlos Frederico Meschini Almeida; Guilherme Broslavschi Pereira da Silva; Guilherme Cecato Delunardo; Eduardo Mota do Nascimento; Luiz André Danesin; Stéfano Regis Gualtieri

**Co-Autores:** Rodrigo Marcacine Resende; Isaque Goes Da Silva; Iloir Junior

**Empresa:** Universidade de São Paulo

---

## Resumo

Através da aplicação de tecnologias de inteligência artificial (IA), com reconhecimento de imagens e detecção de objetos, vigilância inteligente e alerta de risco, o controle e gestão de riscos ocupacionais na construção, operação e manutenção de redes elétricas pode abandonar práticas de inspeção manual e prevenção passiva e seguir para uma prevenção ativa e alertas de risco em tempo real.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e aplicação do **projeto harplA**, baseada em IA e computação de borda (descentralizada) para monitoramento e supervisão ativa de riscos ocupacionais nos trabalhos em redes de energia elétrica. O projeto foi desenvolvido no âmbito do programa PDI ANEEL da COPEL sob o código PD-02866-0530/2020.

A solução utiliza técnicas de IA na análise de imagens para identificar padrões de segurança, com base nas Regras de Ouro da COPEL e assim, implementar um verdadeiro Guardião da Vida Virtual interativo atuando em campo, junto das equipes, para monitoramento e supervisão ativa dos trabalhos de construção, operação e manutenção de redes elétricas.

## 1. Introdução

Os eletricitistas que atuam na rede de distribuição elétrica trabalham dia e noite para garantir a qualidade no fornecimento de energia e minimizar os tempos de interrupção de energia para nossas residências, empresas, indústrias e infraestrutura crítica. No entanto, esse papel vital vem com um perigo inerente, uma vez que riscos elétricos, quedas, lesões e outros riscos ameaçam constantemente a segurança e o bem-estar desses profissionais [1]. Este quadro reforça a urgência de se implementar estratégias eficazes para melhorar a segurança e saúde no local de trabalho de distribuição da energia elétrica.

Métodos tradicionais de gestão e controle de segurança não conseguem acompanhar os requisitos para total cobertura das atividades de construção, operação e manutenção das redes elétricas, sendo que os fatores de risco de segurança no local de trabalho incluem principalmente comportamento e status do equipamento, alguns dos quais podem ser identificados através da inteligência artificial [2].

À medida que a inteligência artificial (IA) se torna mais sofisticada e com maior eficiência (por exemplo, resolução de problemas, detecção de objetos e aprendizagem), transforma os vários setores da indústria

nos quais é aplicada [3]. Uma das áreas que tem grande potencial para aperfeiçoamento é a segurança elétrica.

Através da aplicação de tecnologias de inteligência artificial, com reconhecimento de imagens e detecção de objetos, vigilância inteligente e alerta de risco, o controle e gestão de riscos ocupacionais na construção, operação e manutenção de redes elétricas pode abandonar práticas de inspeção manual e prevenção passiva e seguir para uma prevenção ativa e alertas de risco em tempo real [2].

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e aplicação do projeto harplA, desenvolvida no âmbito do P&D da COPEL, baseada em IA e computação de borda (descentralizada) para monitoramento e supervisão ativa de riscos ocupacionais nos trabalhos em redes de energia elétrica. A solução utilizando técnicas de IA na análise de imagens para identificar padrões de segurança, com base nas Regras de Ouro da COPEL e assim implementar um verdadeiro Guardião da Vida Virtual interativo atuando em campo, junto das equipes, para monitoramento e supervisão ativa dos trabalhos de construção, operação e manutenção de redes elétricas.

A solução HarplA apresentada não só identifica desvios operacionais, em tempo real, a partir da análise das imagens das câmeras de videomonitoramento instaladas no local de trabalho ou no corpo do eletricista, como também registra e emite alarmes quando desvios são detectados, auxiliando a equipe de campo a seguir os procedimentos de segurança durante a realização dos trabalhos, mesmo em regiões remotas com limitação de comunicação. Além disso, o mesmo modelo de inteligência artificial desenvolvido, treinado e utilizado de forma descentralizada em módulo embarcado móvel, que acompanha a equipe de campo, também pode ser aplicado de forma centralizada em servidor específico para análise em massa de vídeos gravados e armazenados das equipes após os trabalhos, detectando desvios de procedimento para fins de auditoria, provendo automação e ampla cobertura na supervisão e gestão na segurança do trabalho, com mínima dependência das atividades humanas.

## 2. Desenvolvimento

A Inteligência Artificial do projeto harplA é composta por três submódulos, a saber, módulo de Pré-Análise, Análise Geral e Análise Dinâmica.

O objetivo do módulo de Pré-Análise é identificar se as imagens capturadas estão relacionadas aos deslocamentos das equipes com os veículos e classificar tais vídeos. O módulo de Análise Geral tem como função principal identificar, a qualquer instante, padrões de segurança e objetos relacionados com as “Regras de Ouro da COPEL” das atividades realizadas em campo. Já o módulo de Análise Dinâmica utiliza a mesma Inteligência Artificial do módulo de Análise Geral, porém configurada para encontrar objetos e padrões específicos em determinados momentos da atividade em campo.

Neste contexto, o módulo embarcado móvel em pose das equipes de campo, faz uso dos módulos de Análise Geral e Análise Dinâmica de forma descentralizada (computação de borda) em tempo real durante os trabalhos das equipes em campo, enquanto em ambiente centralizado são utilizados os módulos de Pré-Análise e Análise Geral instalados em servidor específico para análise em massa de vídeos gravados e armazenados após os trabalhos das equipes.

### **Módulo de Pré-Análise da Inteligência Artificial**

Durante os estudos realizados no projeto, foi constatado que uma grande parte das imagens armazenadas pela COPEL era referente aos deslocamentos das equipes, o que não exigia auditoria dos padrões de segurança. Assim, o módulo de Pré-Análise atua como um filtro, eliminando os vídeos de trajetos e garantindo

que apenas as imagens relevantes para a análise dos padrões de segurança sejam encaminhadas para o módulo de Análise.

O módulo de Pré-Análise utiliza o princípio de fluxo óptico para detectar e descrever o movimento de objetos entre quadros de vídeo. Essa técnica calcula a variação de luminosidade ou cor dos pixels para estimar a direção e velocidade de seus deslocamentos, gerando vetores de movimento.

Em cenários como o deslocamento de veículos, o fluxo óptico identifica padrões de movimento previsíveis, como o deslocamento suave de estradas e paisagens, características de imagens capturadas por dash-cams. Essa identificação, conforme apresentado na Figura 1, facilita a classificação de vídeos, durante o deslocamento nos trajetos, os quais não necessitam de auditoria dos padrões de segurança, permitindo que apenas as imagens classificadas como relevantes sejam analisadas.



Figura 1 – Exemplo identificação de vídeo com carro em movimento (esquerda) ou estacionado (direita)

### Módulo de Análise Geral da Inteligência Artificial

Para o módulo de Análise Geral da Inteligência Artificial é utilizado um modelo contendo um backbone baseado em redes convolucionais (CNN), responsável pela extração das features das imagens, um *neck* utilizando técnicas de fusão de *features* (*Feature Fusion*), para um melhor aproveitamento tanto de características densas quanto esparsas dos dados, múltiplas *head* cada uma responsável por realizar a inferência das caixas e classificação dos objetos, utilizando âncora dinâmica (DAL), coeficiente de Jaccard (IoU) e supressão do não máximo (NMS).

Durante a etapa de treinamento foram utilizadas várias técnicas para aumentar o conjunto de dados (*Augmentation*), visando o aprimoramento da variabilidade e robustez dos dados, geração de ruído, combinação de vários objetos em uma única imagem, rotações e redimensionamentos (*Multi-resolution*).

As técnicas citadas para aprimoramento da variabilidade e robustez dos dados utilizados no treinamento da Inteligência Artificial aumenta a gama de situações em que os objetos são identificados nas imagens para além do universo do dataset inicial, algo muito importante para uma efetiva identificação dos padrões de segurança em situações de campo.

Neste contexto, os objetos anotados nas imagens utilizadas para o treinamento foram escolhidos de forma a permitir a identificação de situações de trabalho, EPIs, EPCs e Padrões de Segurança conhecidas como “Regras de Outro” da COPEL, tais objetos são listados a seguir:

- Ancoragem em cesto aéreo;
- Ancoragem em linha de vida;
- Aterramento do condutor;
- Bastão de manobra;
- Capacete de segurança;

- Cobertura isolante para linha viva;
- Cone de segurança;
- Estai temporário;
- Haste de aterramento;
- Luvas de segurança;
- Multímetro para teste de ausência de tensão;
- Óculos de segurança;
- Sensor para teste de ausência de tensão;
- Trabalhador uniformizado.

Além dos objetos, a Inteligência Artificial foi também treinada para identificar as seguintes situações:

- Trabalhador em escada;
- Trabalhador em poste;
- Trabalhador em cesto aéreo;
- Trabalhador sem capacete;
- Trabalhador sem luvas;
- Trabalhador sem óculos;
- Transeunte sem uniforme.

A Inteligência Artificial foi submetida a várias etapas de treinamento, com um número progressivo de objetos anotados no conjunto de imagens até alcançar o dataset final. Este trabalho, realizado ao longo de 10 meses, envolveu eventos de acompanhamento das atividades em campo para coleta de imagens. Foram analisadas mais de 85 mil imagens, com 9.338 selecionadas e pouco mais de 64 mil anotações de objetos. Esse processo iterativo demandou mais de 1.200 horas de treinamento da rede neural, culminando nos resultados apresentados na Figura 2.

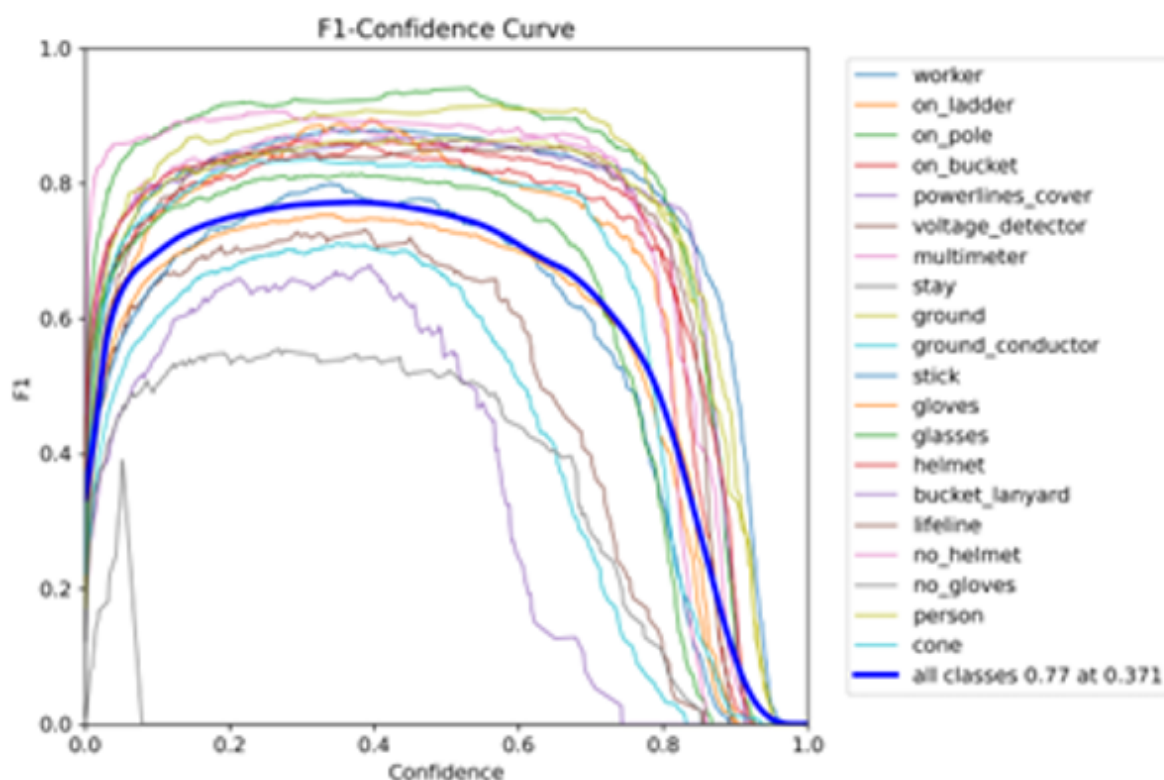




*Figura 2 – Exemplo de anotações de objetos nas imagens de trabalhos em campo*

Este conjunto de dados foi subdividido em três subconjuntos: treino, teste e avaliação.

Após a etapa de treinos e testes da IA com os subconjuntos de treino e teste respectivamente, o subconjunto de avaliação, formado por imagens que não foram utilizadas durante treinamento, foi submetido ao modelo para a etapa de avaliação do desempenho da IA. A utilização de um conjunto diferente para a etapa de avaliação faz-se necessária para garantir que a IA não esteja com viés para identificação apenas de imagens do conjunto do treinamento, avaliando assim a sua capacidade de generalização. A Figura 3 apresenta o gráfico da curva F1 da média harmônica da precisão em relação ao nível de confiança (confidence) demonstrando a eficiência da IA na identificação dos objetos treinados.



*Figura 3 – Curva F1 da média harmônica da precisão em relação ao nível de confiança na identificação dos objetos treinados*

### **Módulo de Análise Dinâmica da Inteligência Artificial**

Para que a Inteligência Artificial pudesse identificar as violações de procedimentos de segurança em determinados momentos no início do trabalho em campo, de forma a garantir o atendimento das “Regras de Ouro” para cada tipo de atividade realizada pelo trabalhador, sabendo o momento certo de detectar ou não os objetos para os quais foi treinada, foi desenvolvido o módulo de Análise Dinâmica. Este módulo da Inteligência Artificial usa o mesmo treinamento do módulo de Análise Geral, porém com filtros para detecção de objetos específicos baseados nas configurações realizadas via IHM (vide figura 4) pelo responsável da equipe, permitindo uma análise do fluxo de trabalho pelo módulo de Análise Dinâmica dentro do módulo embarcado móvel.

Por meio da IHM o responsável pela equipe pode configurar e escolher, logo antes de iniciar as atividades de campo, tudo o que deverá ser detectado pela Inteligência Artificial seguindo a sequência abaixo:

#### **I. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO - Verificação de EPIs e EPCs**

- Identificação de capacete
- Identificação de luvas

- Identificação de óculos
  - Verificação de EPC (em caso de área urbana)
- II. TESTE DE TENSÃO - para atividades em solo ou em altura

- Teste de tensão com bastão
- Teste de tensão com multímetro

### III. REDE DESENERGIZADA - com aterramento no condutor aéreo

- Identificação de aterramento no condutor aéreo
- Linha de Vida - Trava quedas para trabalho em altura sem cesto aéreo
- Linha de Vida - Ancoragem no cesto aéreo para trabalho em altura com cesto aéreo

### IV. TRABALHO EM ALTURA - tipo de trabalho em altura

- Trabalho em altura sem cesto aéreo - Linha de vida e trava quedas.
- Trabalho em altura com cesto aéreo - Linha de vida e ancoragem no cesto aéreo

## **Solução Concebida**

Tendo em vista o objetivo do projeto de conceber um sistema que seja efetivo na prevenção contra ações inseguras em tempo real e na orientação das equipes no cumprimento rigoroso dos padrões de segurança, a solução concebida no projeto harPIA, ao contrário dos sistemas convencionais de IA baseados em nuvem, ou seja, *Cloud Computing*, os quais são reativos, traz uma abordagem proativa na segurança do trabalho, mesmo em locais remotos com limitação de comunicação, e faz uso de sensores e imagens de videomonitoramento para identificar desvios operacionais, condições de trabalho e faz alertas em tempo real visando a garantia da segurança dos trabalhadores.

Dentre as principais características da solução desenvolvida, destacam-se:

- Inteligência artificial instalada em módulo embarcado móvel que viabiliza processamento descentralizado (*edge computing*) dos algoritmos, o que reduz tráfego de dados e latência de redes, aumentando o desempenho da análise das imagens do videomonitoramento em tempo real.
- Registro em vídeo de todas as atividades, com inteligência de imagem para identificar desvios operacionais, condições de trabalho e segurança.
- Faz a geração de alarmes em tempo real, para que o supervisor local da equipe de campo possa agir de modo preventivo e corretivo.
- Caso haja sinal de comunicação com a sede, um supervisor remoto também poderá receber os alarmes e até visualizar o que as câmeras instaladas em campo estiverem capturando naquele momento com os apontamentos da Inteligência Artificial.
- Interface Homem-Máquina (IHM) para configuração do módulo embarcado móvel e parametrização do módulo de Análise Dinâmica sobre a sequência de atividades que serão desempenhadas pela equipe de forma que a IA possa funcionar como um Guardiã da Vida Virtual de cada atividade.

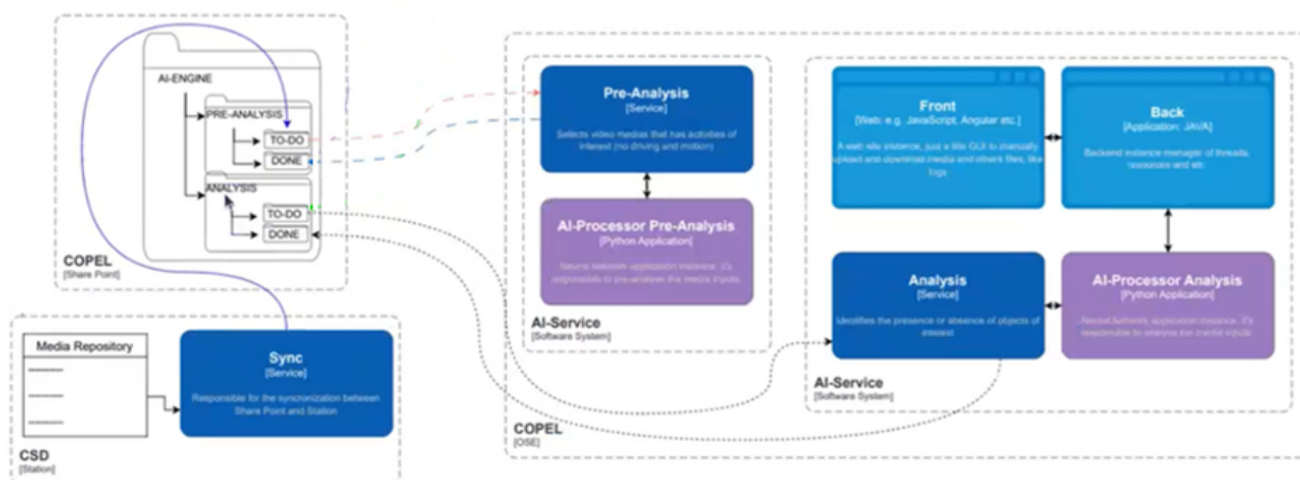
A Figura 4 apresenta imagens do SBOX-EDGE instalado dentro de um veículo e um dispositivo móvel (*tablet*) com aplicativo da IHMA do SBOX-EDGE no âmbito do projeto harPIA implementado na COPEL.



*Figura 4 – Módulo embarcado móvel instalado em veículo (esquerda) e tablet (direita) com IHM para o eletricista desenvolvida no projeto harplA*

Além da aplicação de forma descentralizada no módulo embarcado móvel, a Inteligência Artificial desenvolvida no projeto contempla o módulo de Pré-Análise e Análise Geral que podem ser utilizadas de forma centralizada em servidor específico para análise em massa de vídeos gravados e armazenados pelas equipes após os trabalhos, filtrando vídeos de deslocamento que não precisam ser analisados e direcionando os esforços de processamento para identificação dos desvios de procedimento para fins de auditoria, provendo automação e ampla cobertura na supervisão e gestão na segurança do trabalho, com mínima dependência das atividades humanas.

A Figura 5 apresenta o fluxo de dados da solução centralizada de IA para auditoria da segurança do trabalho implantada na empresa distribuidora COPEL, desde a inserção dos vídeos das câmeras de videomonitoramento nos CSDs da empresa até os relatórios disponibilizados pelo bloco AI-Processor Analysis dentro das pastas DONE.



*Figura 5 - Fluxo de dados da solução centralizada de IA para auditoria da segurança do trabalho implantada na empresa distribuidora COPEL*

No diagrama da Figura 5, destacam-se os seguintes blocos:

- CSD [Station]- Estação fisicamente localizada nas bases que recebem as imagens das Câmeras de videomonitoramento e dos módulos embarcados móveis, para que possam estar acessíveis pelos sistemas conectados.
- Share Point COPEL – ambiente interno da COPEL utilizado para armazenamento e gerenciamentos dos vídeos coletados pelas equipes de campo. Este ambiente é integrado com a solução de Inteligência Artificial via pastas compartilhadas em SharePoint para Análise e Pré-Análise com subpastas para separação dos vídeos analisados ou ainda por analisar, DONE e TO-DO respectivamente.
- OSE COPEL - Servidor interno da COPEL que hospeda os módulos de Pré-Análise e Análise Geral de imagens. Os referidos módulos funcionam de forma automática como uma “esteira” de análise dos vídeos armazenados nas pastas TO-DO retornando os relatórios da análise e vídeos com as marcações da IA para a pasta DONE.

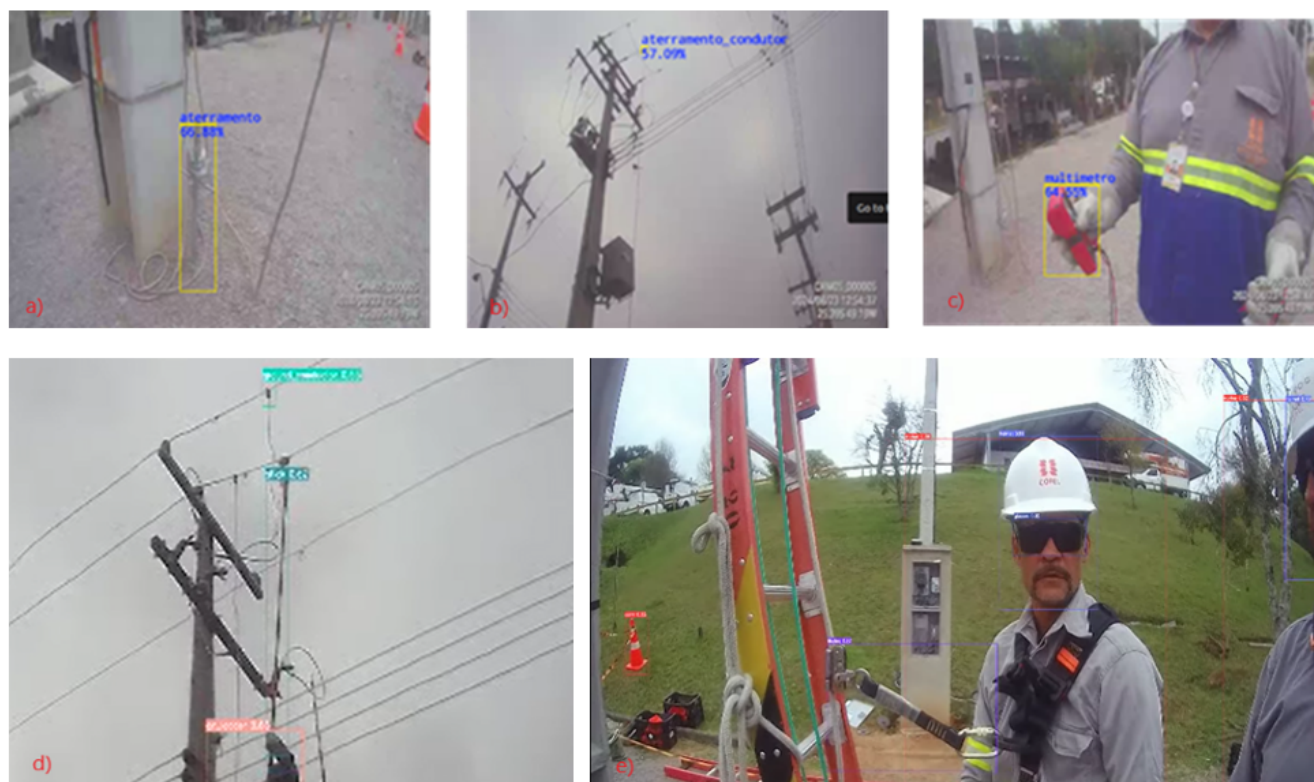
Com esta solução centralizada, implantada como uma “esteira” de análise de vídeos para serem processados automaticamente pela Inteligência Artificial, comparativamente ao método manual que era utilizado, uma quantidade maior de imagens passou a ser analisadas para efeito de auditoria dos procedimentos de segurança do trabalho, até mesmo no caso de equipes sem o módulo embarcado móvel em uso pelas equipes, bastando que os vídeos dos sistemas de videomonitoramento de cada CSD fossem inseridos na plataforma do projeto harpIA.

## Resultados

O projeto aplicou tecnologias de IA e Edge Computing para análise dos vídeos em tempo real no campo, identificando padrões de desvios e contextualizando as atividades dos trabalhadores sendo possível identificar os momentos de deslocamento, preparação do ambiente e a execução das atividades, com alarmes em tempo real quando na detecção de eventuais desvios.

A Figura 6 apresenta exemplos de identificação dos objetos e padrões de trabalho com os registros realizados pela Inteligência Artificial ao longo de um trabalho em campo.





*Figura 6 – Exemplos de identificação de objetos nas imagens: a) haste de aterramento, b) aterramento de condutor, c) multímetro para teste de tensão, d) aterramento de condutor, vara de manobra e trabalhador no poste, e) cone, linha de vida e trava quedas, capacete, óculos.*

Além disso, a solução também foi implantada no centro de treinamentos da COPEL, onde as equipes de trabalho da empresa são treinadas e suas habilidades aperfeiçoadas para os serviços de operação, manutenção e construção de redes de energia. Neste caso, o módulo embarcado móvel ao invés de estar instalado no veículo, foi acomodada em uma caixa, devidamente abrigada (vide Figura 7), para que pudesse ser levada para o local de treinamentos e servir como um “Guardião da Vida Virtual” que ajuda no treinamento das equipes enviando alarmes sempre que a IA detectar algum desvio, contribuindo para o cumprimento das medidas de segurança do trabalho.



*Figura 7 – Kit para utilização no centro de treinamento COPEL*

Dentre os benefícios da solução construída no projeto harPIA e implantada na COPEL, destacam-se:

- Trabalhadores em campo conectados on-line aos Centros de Operação, monitoramento, acompanhamento e suporte remoto;
- Indicadores de desvios operacionais;
- Registro e classificação dos vídeos dos procedimentos operacionais;
- Gestão automática das condições de trabalho e eficiência operacional;
- Acompanhamento automático do cumprimento dos padrões de segurança durante os serviços em campo;
- Base de dados para análise e mitigação de riscos judiciais;
- Integração com outras iniciativas dentro da COPEL para segurança do trabalho.

### **3. Conclusão**

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e aplicação do projeto harPIA, baseada em IA e computação de borda (descentralizada) para monitoramento e supervisão ativa de riscos ocupacionais nos trabalhos em redes de energia elétrica. O projeto foi desenvolvido no âmbito do programa PDI ANEEL da COPEL sob o código PD-02866-0530/2020.

Os resultados demonstram que a solução baseada em IA não só identifica desvios operacionais, em tempo real, a partir da análise das imagens das câmeras de videomonitoramento instaladas no local de trabalho ou no corpo do eletricitista, como também é eficaz no registro e nos alarmes quando desvios são detectados,

auxiliando a equipe de campo a seguir os procedimentos de segurança durante a realização dos trabalhos em campo.

#### **4. Referências bibliográficas**

1. R. Ravanbakhsh, "Strategies for Improving Safety and Health in the Workplace for Electrical Distribution Network Personnel," 2024 28th International Electrical Power Distribution Conference (EPDC), Zanjan, Iran, Islamic Republic of, 2024, pp. 1-6.
2. W. Yuan, C. Zaixin, W. Qing, J. Huihui, D. Tao and C. Li, "Safety Risk Control System for Electric Power Construction Site Based on Artificial Intelligence Technology," 2023 Panda Forum on Power and Energy (PandaFPE), Chengdu, China, 2023, pp. 1695-1699.
3. M. Doherty and B. Esmaeili, "Application of Artificial Intelligence in Electrical Safety," 2020 IEEE IAS Electrical Safety Workshop (ESW), Reno, NV, USA, 2020, pp. 1-6.