



Funcionalidades de videomonitoramento e sensoriamento combinadas para segurança do trabalho em redes elétricas: desenvolvimento e aplicação do Smart Vision EPI Multissensorial

Tema: Tecnologias Emergentes

Autores: Luiz Henrique Leite Rosa; Carlos Frederico Meschini Almeida; Eduardo Mota do Nascimento; Luiz André Danesin; Marco Gabriel Santos Rebechi; Rogério Clementino Alvarenga; Stéfano Regis Gualtieri

Co-Autores: Diego Otavio Paes; Danieli Tartari

Empresa: Universidade de São Paulo

Resumo

Ainda que existam normas regulamentadoras (NRs) que prescrevem medidas de proteção para segurança nos trabalhos, além de normas técnicas e procedimentos de segurança elaboradas pelas empresas de distribuição elétrica, os trabalhadores podem não aderir conscientemente aos procedimentos de segurança, seja por falta de conscientização ou pressão para realização expedita das atividades, introduzindo assim riscos significativos, como choques elétricos, quedas de altura e outras situações perigosas.

A utilização de câmeras de vídeo pode trazer grandes benefícios para o monitoramento dos trabalhadores no que se refere ao cumprimento dos procedimentos de segurança, entretanto, o crescente número de câmeras, combinado com o aumento na qualidade dos vídeos, acarreta um aumento nos requisitos de espaço de armazenamento, além de poder inviabilizar a retenção por longos períodos para realização de auditorias das atividades registradas pelo videomonitoramento.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento do Smart Vision EPI Multissensorial, um equipamento auxiliar de proteção individual que integra dispositivos como sensores e câmera com capacidade de processamento para videomonitoramento contínuo. O equipamento inicia o armazenamento de imagens ao detectar eventos específicos a partir dos sensores, incluindo momentos anteriores ao evento, e registra as informações coletadas nos frames de vídeo. Isso garante evidência e sincronicidade entre os dados dos sensores e as imagens, permitindo uma drástica redução no volume de dados armazenados para auditorias e aumentando a eficiência na análise dos eventos registrados.

O projeto foi desenvolvido no âmbito do programa PROPDI ANEEL da CELESC sob o número 5697-1223/2023.

1. Introdução

Os eletricitistas que atuam nas atividades de construção e manutenção das redes de distribuição elétrica desempenham um papel essencial para garantir a continuidade e a qualidade do fornecimento de energia para a sociedade. Contudo, esses profissionais enfrentam diariamente riscos significativos, como choques elétricos, quedas de altura e outras situações perigosas (RAVANBAKSH, 2024).

Segundo o Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho (SMART LAB, 2024) entre os anos de 2012 e 2022 foram notificados 14.356 acidentes de trabalho somente no setor de Distribuição de Energia Elétrica do Brasil, dentro os quais podem ser destacados agentes causadores como queda de altura, choque elétrico e veículos de transporte com 1.040, 353 e 2.162 notificações respectivamente. Entretanto, a quantidade de acidentes notificados ao longo destes 10 anos diminui substancialmente, caído de 1.533 para 778 acidentes, conforme apresentado no gráfico a seguir.

Os dados acima reforçam a importância da área de segurança do trabalho e saúde ocupacional no setor de Distribuição de Energia Elétrica, a qual visa fazer a identificação, avaliação e controle das situações de risco e proporcionar às pessoas um ambiente ocupacional seguro e saudável.

Neste contexto, a legislação trabalhista brasileira abrange diversas regulamentações sobre saúde e segurança do trabalho. No que diz respeito a segurança em instalações elétricas destaca-se a NR10 (BRASIL, 2016) que estabelece os requisitos e condições mínimas objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade.

Dentre as prescrições da NR10 podemos encontrar a necessidade de adoção de medidas de proteção coletiva, medidas de proteção individual e as medidas preventivas de controle do risco elétrico e de outros riscos adicionais, mediante técnicas de análise de risco, de forma a garantir a segurança e a saúde no trabalho.

Entretanto, ainda que medidas de proteção para segurança no trabalho sejam claramente previstas na NR10 e em outras normas regulamentadoras como a NR35 (BRASIL, 2012) que trata de Trabalho em altura, os acidentes continuam acontecendo pela falta do correto cumprimento das normas.

Neste contexto, a utilização de câmeras de vídeo pode trazer grandes benefícios para o monitoramento dos trabalhadores no que se refere ao cumprimento dos procedimentos de segurança e adoção de medidas de proteção e controle de risco.

Segundo (QIU e KANG, 2022), por falta de conscientização sobre segurança, os trabalhadores podem não aderir conscientemente às normas de segurança, introduzindo assim riscos para a atividade, sendo de extrema importância um sistema de monitoramento automatizado para supervisionar os trabalhadores.

Diversos trabalhos abordam a importância do videomonitoramento para a segurança do trabalho. Em (QIU e KANG, 2022) os autores apresentam o projeto de um sistema de monitoramento de EPI (equipamento de proteção individual) de segurança que analisa streams de vídeo ao vivo de câmeras IP para determinar se os trabalhadores estão usando EPI. Em (PEREZ, 2014) é apresentado o desenvolvimento de um sistema inteligente de vigilância por vídeo capaz de detectar e prever possíveis interações perigosas entre trabalhadores e veículos operando em uma área de mineração monitorada. Em (OH e LEE, 2010), os autores apresentam um sistema de monitoramento baseado em imagens que detecta possíveis acidentes na plataforma ferroviária e apoia no gerenciamento dessa situação.

Entretanto, como observado em (DUTT e KALRA, 2016), o crescente número de câmeras, combinado com o aumento na qualidade dos vídeos e a necessidade em reter esses vídeos por longos períodos, acarreta um aumento nos requisitos de espaço de armazenamento. Segundo [8], esse aumento na implantação de câmeras de vigilância está causando um grande impacto financeiro nas operações do setor público e privado.

Além do mais, o alto volume de vídeos inviabiliza um processo consistente de inspeção em busca de desvios que poderiam representar potenciais riscos de quase acidentes e suas consequências.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento do Smart Vision EPI Multissensorial (SVision-PPE), um equipamento auxiliar de proteção individual que combina diversos dispositivos, como câmera e sensores de campo elétrico, umidade, temperatura, altitude, ruído, movimento, luminosidade, geolocalização, entre outros. O dispositivo possui capacidade de processamento e memória para videomonitoramento contínuo e registro

das informações dos diversos sensores. O armazenamento das imagens é iniciado apenas quando ocorre a detecção de um evento ou desvio operacional por meio de um dos sensores, incluindo momentos anteriores ao evento. As informações coletadas pelos sensores são gravadas no próprio vídeo, garantindo a sincronicidade entre os dados dos sensores e as imagens registradas.

2. Desenvolvimento

O desenvolvimento do Smart Vision EPI Multisensorial (SVision-PPE) se inicia com a definição dos requisitos técnico/funcionais para alcançar os objetivos almejados, os quais estão relacionados com a segurança do trabalhador em toda a jornada, desde o início do deslocamento da equipe ao local da atividade até o final da execução do trabalho.

Para alcançar estes objetivos, a solução contemplou os seguintes componentes:

- SVision-PPE: dispositivo inteligente de videomonitoramento e sensoriamento (Smart Vision EPI Multisensorial), sendo o elemento principal do projeto, responsável por identificar e registrar desvios de procedimentos em tempo real por meio do sensoriamento das atividades em campo. O dispositivo pode ser fixado em *dockstation* veicular ou no capacete do eletricista.
- App-SDevices: aplicação *middleware* de comunicação com *cloud* e alerta local, instalada em um aparelho móvel (celular ou *tablet*) responsável por ser a interface de interação com a equipe de eletricistas.
- PaaS-Cloud-SIoT: sistema *web* com portal de gerenciamento e interfaces (APIs) para integração com outros sistemas corporativos e que permite o gerenciamento dos dispositivos conectados e alertas gerados em campo.

Utilização da solução para a jornada segura

A jornada de trabalho segura pode ser descrita pelos seguintes passos:

- Deslocamento até o local da atividade: Antes do deslocamento, a equipe deverá indicar no App-SDevices, o contexto de atividade de Deslocamento, onde neste momento, o SVision-PPE deverá entender que qualquer risco situacional relacionado ao trajeto deverá ser indicado, registrado e notificado localmente para a equipe e remotamente aos centros de operação. O centro de operação poderá acessar online os dados do SVision-PPE para inspeção remota orientada a eventos e tomadas de decisão.
- Confirmação da atividade no local: Ao chegar no local de atividade, a equipe deverá confirmar a existência da atividade, ou recusar se for o caso.
- Identificação da atividade no local: A equipe deverá selecionar, no App-Sdevices, o padrão de atividade a ser executado, onde neste momento o SVision-PPE deverá entender que qualquer risco situacional relacionado a execução das atividades deverá ser indicado, registrado e notificado localmente para a equipe e remotamente aos centros de operação. O centro de operação pode acessar on-line os dados do SVision-PPE para inspeção remota orientada a eventos.
- Execução da atividade: A equipe estará liberada para realização das atividades. Neste instante, a equipe não precisará mais utilizar o App-Sdevices e qualquer alerta será indicado conforme programação preestabelecida relacionado aos riscos situacionais.
- Encerramento da atividade e deslocamento para o próximo serviço: Ao término da atividade, a equipe então deverá se deslocar para tantos serviços quanto forem necessários em sua jornada de trabalho e, ao final, retornando ao CSD, os dados do SVision-PPE poderão ser descarregados para posterior análise.

A figura 1 apresenta o diagrama da aplicação identificando os componentes da solução (App Middleware de comunicação, PaaS IoT, Smart Vision EPI) durante a jornada de trabalho, desde o deslocamento até a execução das atividades.

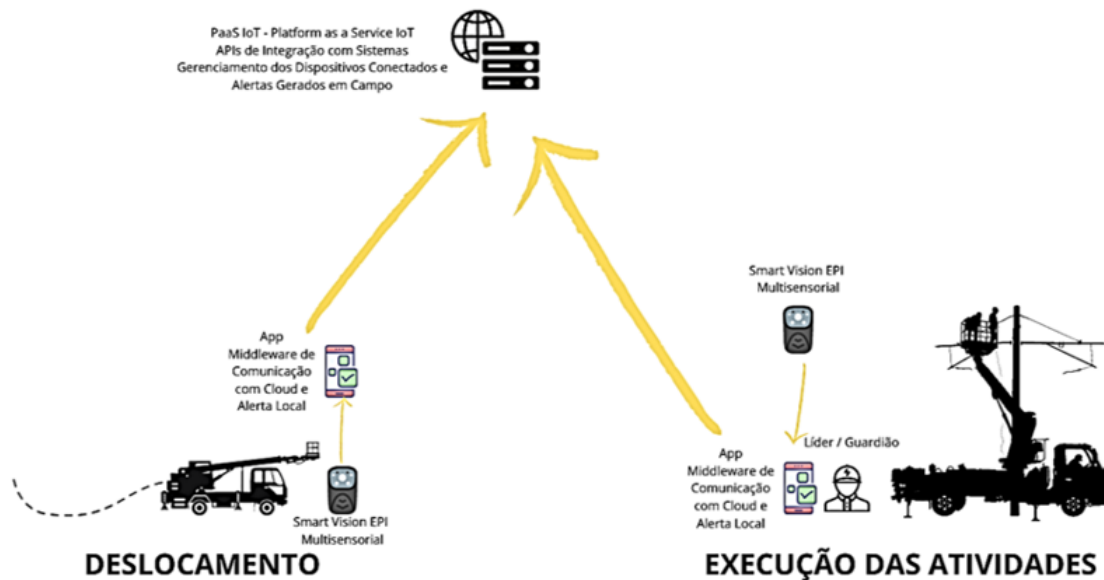


Figura 1 – Utilização da solução durante a jornada

Requisitos técnicos e funcionais

Para alcançar os objetivos do projeto, cada componente da solução foi desenvolvido para atender aos seguintes requisitos:

SVISION-PPE

- Capacidade para identificar a presença de campo elétrico em redes de distribuição de energia elétrica, bem como a ausência de campo elétrico nos trabalhos em redes energizadas.
- Geolocalização baseada em sistemas GPS, processando dados de velocidade, altitude, latitude e longitude no globo terrestre.
- Capacidade de medir umidade relativa do ar e pressão atmosférica.
- Captura de vídeo em alta resolução e áudio por sistema integrado de microfone.
- Módulo inercial para processamento de aceleração linear e angular 3D.
- Sensor para identificação da luminosidade ambiente.
- Lanterna de alta intensidade, com possibilidade de acionamento automático.
- Alerta sonoro para indicação de riscos situacionais pré-parametrizados, além de luzes indicadoras do estado operacional e funcional do equipamento.
- Rádio de comunicação incorporado para aplicações de IoT (Internet das Coisas).
- Botões para acionamento manual de funcionalidades do equipamento, incluindo função de emergência.

- Bateria interna recarregável com gerenciamento de energia incorporado.
- Registro das imagens com os dados dos sensores, e orientado a eventos programados e configurável a determinados eventos de sensores.
- Equipamento leve (aproximadamente 80 gramas) e ergonômico para instalação em capacetes EPI padrão de mercado.
- Acompanha acessório *dockingstation* veicular, para recarga a bordo no próprio veículo e dispensando a necessidade de descarregamento manual dos registros internos.

APP-SDEVICES

- Configuração, monitoramento e controle do equipamento SVISION-PPE.

PaaS-CLOUD-SIOT

- Capacidade de monitoramento dos eventos remotamente via *web*.
- Acesso online às imagens e dados dos sensores via *web*.

Registro de imagens orientado a eventos contendo as leituras dos sensores

Uma funcionalidade inteligente e inovadora do SVISION-PPE, que agrega muito valor à solução, é a capacidade do dispositivo de registrar continuamente as imagens (videomonitoramento), mas armazenar os vídeos apenas quando eventos são detectados pelos sensores. Ou seja, o armazenamento dos vídeos é orientado a eventos: o desvio operacional detectado por qualquer um dos diversos sensores, ou pela combinação e análise destes, inicia o armazenamento dos vídeos, incluindo momentos anteriores ao evento, por um tempo determinado (configurável).

Além disso, no vídeo armazenado, são registrados, na própria imagem, os dados dos sensores que detectaram o desvio de procedimento ou evento de insegurança que motivou o armazenamento.

A Figura 2 apresenta um exemplo do fluxo de dados da funcionalidade de armazenamento de imagens orientado a eventos quando um evento de insegurança é detectado pelo sensor 1.

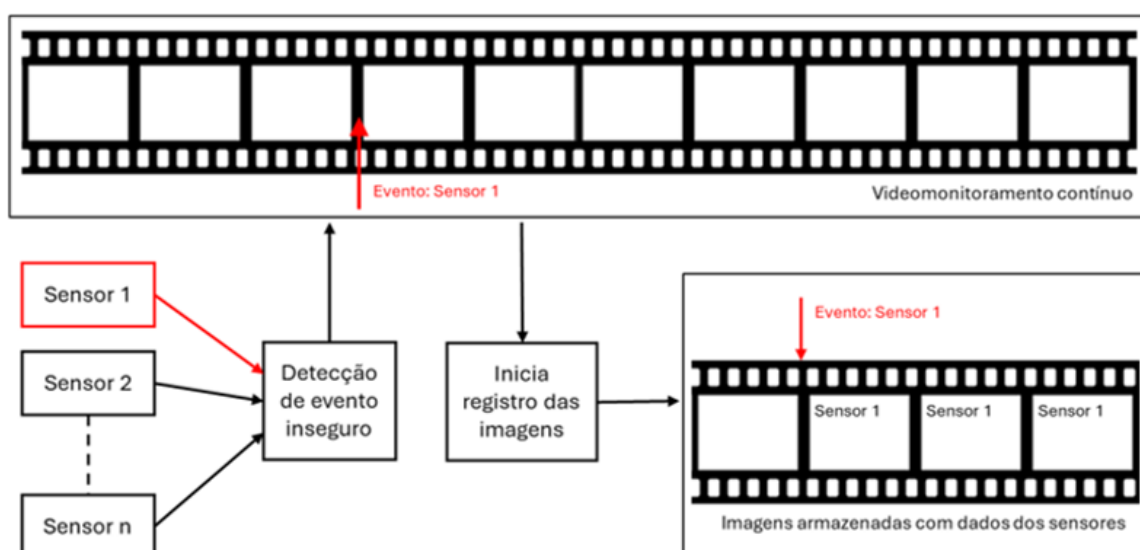


Figura 2 - Fluxo de dados da funcionalidade de armazenamento de imagens orientada a eventos

A Tabela 1 apresenta exemplos de eventos de insegurança ou desvios de procedimentos de segurança no trabalho dos eletricitas, relacionados com o respectivo sensor do SVISION-PPE, e o tipo de dados lidos pelo sensor e registrados na imagem armazenada.

Tabela 1 - Exemplos de eventos relacionados aos sensores e atividades dos eletricitas

Evento inseguro	Sensor SVISION-PPE	Análise e registro dos dados na imagem
Presença de tensão detectada para trabalho em linha morta	Detector de campo elétrico	Campo elétrico acima do limiar é detectado e registrado nas imagens do trabalho em linha morta
Falta de luminosidade	Detector de luminosidade	Luminosidade abaixo do limiar é detectada e registrada nas imagens da atividade em andamento
Detecção de queda livre	Detector de movimento e acelerômetro	Altura aproximada da queda é identificada e registrada nas imagens da atividade
Detecção de trabalhador em altura para atividade que deveria ser em solo	Detector de pressão atmosférica e temperatura	Altura do profissional é detectada e registrada nas imagens da atividade que deveria ser em solo
Detecção de umidade relativa do ar elevada durante trabalho em linha viva	Detector de umidade relativa do ar	Umidade relativa do ar acima do limiar é detectada e registrada nas imagens do trabalho em linha viva
Detecção de nível de ruído ambiente acima de limite considerado saudável para comunicação da equipe	Sensor de microfone incorporado	Nível de ruído ambiente acima do limiar é detectado e registrado nas imagens da atividade em andamento
Desaceleração brusca durante deslocamento com veículo	Detector de movimento e acelerômetro	Velocidade e desaceleração abrupta são identificadas e registradas nas imagens do deslocamento
Distância segura de veículo à frente	Detector de vídeo com análise da imagem	Combinação da análise de velocidade e estimativa de proximidade é registrada na imagem

A Figura 3 apresenta uma imagem do SVISION-PPE fixado perfeitamente em um capacete, trazendo segurança e praticidade para o uso, e uma imagem da tela do tablet que está acompanhando o videomonitoramento no qual estão estampados os dados dos sensores que foram registrados naquele exato momento.



Figura 3 - Imagem do SVISION-PPE fixado em capacete (esquerda) e exemplo de imagem do videomonitoramento com dados dos sensores registrados na própria imagem (direita).

3. Conclusão

Este trabalho apresentou o SVISION-PPE, um equipamento de proteção individual que combina diversos dispositivos como câmera e sensores, bem como o App-SDevices e o PaaS-Cloud-SIoT que completam a solução desenvolvida em projeto no âmbito do programa PDI ANEEL (código do projeto: 5697-1223/2023) por colaboração entre a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), a Sgridd Tecnologia e as Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC).

São destacadas as características e funcionalidades do SVISION-PPE que contempla câmera e sensores de campo elétrico, de umidade, de temperatura, de altura, de ruído, de movimento, de luminosidade, entre outros e com poder de processamento e memória para videomonitoramento contínuo e registro de informações dos diversos sensores, de forma a apenas iniciar o armazenamento das imagens quando houver detecção de um evento ou desvio operacional, a partir de um dos sensores, incluindo momentos anteriores ao evento, e com as informações coletadas pelos sensores gravadas nas próprias imagens, garantindo a sincronidade das informações dos sensores e as imagens gravadas.

A aplicação massiva da solução tem potencialidade para substituir diversos sensores dispersos, uma vez que já estão integrados no dispositivo SVISION-PPE, contribuir para elevar a eficácia das medidas de controle de risco em ambiente de trabalho, contribuir para elevar a eficácia da auditoria de imagens no âmbito da segurança do trabalho e diminuir drasticamente o volume de armazenamento das imagens dos sistemas de videomonitoramento das equipes de campo.

4. Referências bibliográficas

- RAVANBAKHSH, R. "Strategies for Improving Safety and Health in the Workplace for Electrical Distribution Network Personnel," 2024 28th International Electrical Power Distribution Conference (EPDC), Zanzan, Iran, Islamic Republic of, 2024, pp. 1-6.
2. SMART LAB. Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho, 2024 - Disponível em: <https://smartlab-br.org/sst>
 3. BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria nº 508, 29 de abril de 2016. Altera a NR 10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade.). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 02/05/2016.
 4. BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria nº 313, 23 de março de 2012. Aprova a Norma Regulamentadora n.º 35 (Trabalho em Altura). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27/03/2012.
 5. QIU, S.; KANG, Y. "A Personal Protective Equipment Safety Monitoring System in Industrial Scenes," 2022 IEEE 8th International Conference on Computer and Communications (ICCC), Chengdu, China, 2022, pp. 2182-2186.
 6. PEREZ, C. A.; et al., "Automatic Safety Video Surveillance-Tracking System to Avoid Vehicle-Workers Interaction for Mining Applications," 2014 International Symposium on Optomechatronic Technologies, Seattle, WA, USA, 2014, pp. 23-27.
 7. OH, S. C.; LEE, H. "Performance analysis of vision-based monitoring system for passenger's safety on railway platform," ICCAS 2010, Gyeonggi-do, Korea (South), 2010, pp. 1867-1870.
 8. DUTT, S. and KALRA, A, "A scalable and robust framework for intelligent real-time video surveillance," 2016 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), Jaipur, India, 2016, pp. 212-215.