SISTEMA DE CONTROLE *WEB* PARA GERENCIAMENTO DE COLETAS AUTOMATIZADAS DE IMAGENS TERMOGRÁFICAS

João Pedro da Matta Galera da Silva[1], João Henrique Campos Soares[1], Leonardo Göbel Fernandes[1,3], Alceu André Badin[1,3], Winderson Eugenio dos Santos[1], Eduardo Félix Ribeiro Romaneli[1,2]

[1]Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil
(joaosilva.2016@alunos.utfpr.edu.br)
[2]PPGSE – Programa de Pós-Graduação em Sistema de Energia, Curitiba, Brasil
[3]CPGEI – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Curitiba, Brasil

Resumo: O presente artigo busca descrever as etapas e as funcionalidades necessárias para a utilização de uma interface *web* durante uma coleta automatizada de imagens térmicas em subestações de energia elétrica. Esse sistema se demonstra essencial para o operador durante uma inspeção termográfica, pois é computado a posição, angulação, objeto de interesse e situação do ambiente externo, automatizando o processo de coletas e evitando a exposição do trabalhador nesse ambiente periculoso.

Palavras-chave: Interface de usuário baseada na *web*; Análise térmica; Automação; Aquisição de imagens termográficas;

INTRODUÇÃO

Atualmente, observa-se uma grande demanda por sistemas de automação em todos os segmentos industriais, que permitam a redução de custos e o aumento da produtividade (Tagliari et al, 2010). Os resultados obtidos por pesquisa de mercado mostraram que com a tecnologia do século XXI, pode-se ter processos produtivos muito seguros, que principalmente preserve o bem estar dos trabalhadores (Hosoya et al, 2009).

Quanto a automação, pode-se afirmar que essa oferece muitas vantagens no que diz respeito ao ponto de vista técnico, tais como: qualidade uniforme permanente, velocidade de trabalho alta e constante; no econômico pode ser citado: alta produtividade, substituição do dispendioso trabalho feito pelo homem por máquinas; e ainda o caráter social: livrar a humanidade da responsabilidade de atividades sujas, monótonas, difíceis ou perigosas (Festo, 1993, apud Pastori & Rodolpho, 2020). Como exemplo, de todo o maquinário utilizado em canteiros de obras, as escavadeiras são responsáveis pela maior parte dos acidentes fatais. A escavação se torna um processo de risco devido a processos de trabalho imprecisos e a instabilidade do ambiente externo na maioria dos canteiros. Esses acidentes ameaçam não somente a vida dos pilotos das escavadeiras, mas também de todos os que ficam ao seu redor. Como forma de evitar essa situação, é proposto um sistema mecânico capaz de controlar escavadoras remotamente de lugares seguros, como um escritório do local de trabalho (Lee et al, 2019). Outra situação é a utilização de robôs móveis para a inspeção *online* de túneis de cabos em ambientes após um incêndio. Geralmente, esses locais ficam cheios de gases tóxicos, como monóxido de carbono, metano, dióxido de carbono, entre outros. Com o uso do robô, é possível sinalizar se o local está seguro ou não (Zhuang et al, 2008), evitando colocar em risco a vida dos trabalhadores nesse tipo de situação.

Durante uma manutenção ou atividade operacional dentro de subestações de energia elétrica, o trabalhador é exposto a vários riscos, como por exemplo o choque elétrico, causado pelo contato acidental em partes energizadas gerando um arco elétrico devido a energia incidente (Queiroz & Senger, apud Rocha & Delabrida 2012). Os técnicos visitam a subestação principalmente para realizar manobras, manutenções e para checar o estado dos equipamentos. Para avaliar o último caso, faz-se o uso da inspeção termográfica, uma técnica não invasiva que possibilita o aferimento da temperatura de superfície a partir da detecção de radiação infravermelha e a consequente detecção de falhas relativas ao superaquecimento de equipamentos, a partir da análise dos resultados obtidos na utilização desse método (Monteiro et al, 2013).

O projeto PD-2866-0528/2020 - Desenvolvimento de Metodologia para Análise Automática de Imagens Térmicas, realizado pela UTFPR em parceria com a Copel (Companhia Paranaense de Energia), propõe a utilização de um robô e câmeras de monitoramento e

termográficas para a realização deste tipo de análise. As imagens são registradas e enviadas a um servidor onde redes neurais podem identificar e detectar comportamentos anômalos da temperatura dos componentes elétricos das subestações de energia, normalmente causados pelos maus contatos que acontecem devido a oxidação de parafusos e afins. Nesse contexto, foi desenvolvido um protótipo para a realização das coletas de imagens. Como forma de permitir o comando e monitoramento de uma coleta pela equipe de desenvolvimento, torna-se necessário o desenvolvimento de uma interface *web* que apresente todas as informações importantes para o operador. Este artigo descreve o passo a passo da implementação e utilização dessa interface.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizado o levantamento das demandas necessárias com a equipe do projeto para que o operador do protótipo, durante uma coleta de imagens (missão), tivesse uma visão geral da situação do robô e do ambiente externo.

Foram identificadas as seguintes necessidades para se disponibilizar na interface de controle: Comando para mover o AGV no eixo X, a partir da inserção da posição desejada, comando para estacioná-lo e para abortar o comando em execução; Opção para rotacionar a câmera com *PanTilt* (sistema eletromecânico que permite o rotacionamento da câmera nos planos horizontal e vertical) nos planos horizontal e vertical, a partir da inserção dos ângulos de azimute e elevação; Opções para comandar captura de imagem termográfica para a memória interna do sistema e posterior *download* de todas as imagens da biblioteca em um arquivo ZIP; Apresentação do *streaming* em tempo real das câmeras de monitoramento, localizadas na parte frontal e traseira do AGV, na doca onde o veículo fica estacionado, e da câmera termográfica, para o operador se situar durante a missão.

Foi feita uma análise dos protocolos de comunicação ofertados por cada um dos equipamentos utilizados no sistema, além de bibliotecas fornecidas pelos fabricantes e em quais linguagens de programação estavam disponíveis, buscando-se chegar a uma padronização de tecnologias, o que permitiu uma melhor integração entre as partes.

Estes equipamentos são: Um veículo auto-guiado (AGV, na sigla em inglês), uma câmera termográfica com *PanTilt* , uma câmera termográfica fixa, câmeras de segurança para monitoramento, além de um computador local para execução do sistema de controle e armazenamento de imagens.
Todos os equipamentos utilizados tinham em comum a presença de interface Ethernet e a possibilidade de serem comandados através de uma rede IP.
.

- Equipamentos utilizados

a) AGV

Um veículo auto-guiado desenvolvido por uma empresa local especializada em desenvolvimento de AGVs foi escolhido para ser o responsável por mover as câmeras no interior da subestação. Tal veículo possui a possibilidade de se deslocar linearmente além girar ao redor do próprio eixo. Na Figura 1 é apresentado o AGV utilizado.



Figura 1: Veículo auto-guiado utilizado no projeto

Para controle do AGV, existe uma interface *web* desenvolvida pelo fabricante, que pode ser acessada por qualquer navegador. Adicionalmente, existe uma Interface de Programação de Aplicação (API) que permite que o veículo seja comandado por um *software* externo, com o envio de mensagens no formato JSON através de conexões com o protocolo HTTP. O desenvolvedor do equipamento também disponibilizou uma biblioteca na linguagem Python que abstrai os comandos que precisam ser enviados pela API em classes e funções, simplificando o desenvolvimento.

b) Câmera termográfica com *PanTilt*

A câmera termográfica com *PanTilt* escolhida pelo projeto é uma FLIR® A310PT. Esta câmera produz imagens térmicas de 320x240 pixels e seu *PanTilt* permite 360° de rotação horizontal e inclinação vertical de ±45° (FLIR…,201-?a). A Figura 2 apresenta a câmera.



Figura 2: Câmera termográfica com *PanTilt* A310PT

Assim como o AGV, esta câmera também disponibiliza uma interface *web* para seu controle, além da opção de utilizar um *software* proprietário do fabricante.
Também como no AGV, uma API HTTP está disponível para controle externo do equipamento. Nesta API basta inserir o comando a ser executado e os parâmetros na URL, com apenas as respostas da câmera utilizando o formato JSON. Toda a documentação desta API foi adquirida após contato com o suporte da FLIR® que também forneceu duas bibliotecas para abstrair comunicação, uma na linguagem C# e outra na linguagem C++, compatíveis com os sistemas operacionais Windows e Linux.

c) Câmera termográfica fixa

Uma câmera termográfica adicional foi escolhida pela equipe, de modo a possibilitar imagens com resolução superior à ofertada pela A310PT. Foi selecionada para isso a FLIR® A700, que gera imagens térmicas de 640x480 *pixels* e imagens óticas de 5 *megapixels* (FLIR…,201-?b). A Figura 3 exibe esta câmera.



Figura 3: Câmera termográfica A700 com proteção IP67 e dissipador acopladados

Da mesma forma que os equipamentos anteriores, a A700 também possui uma interface *web* interna para gerenciamento e captura de imagens. Já o acesso externo pode ser feito através de um protocolo proprietário chamado Atlas. A FLIR® disponibiliza uma biblioteca na linguagem C# para trabalhar com este protocolo.
Em contato com o suporte do fabricante, obteve-se a informação que a A700 também possuía uma API HTTP para obtenção dos dados, da mesma forma que o AGV e a A310PT. O atendimento forneceu a documentação para desenvolver com a API, que, diferentemente dos equipamentos anteriores, não possuía uma biblioteca pronta para acessá-la.
Esta câmera também suporta o protocolo *Real Time Streaming Protocol* (RTSP) para acessar o seu *streaming* de vídeo.

d) Câmeras de monitoramento do AGV

Para observar o andamento da missão enquanto se controla remotamente os equipamentos, câmeras de segurança foram adicionadas nas partes dianteira e traseira do AGV. As câmeras utilizadas são do modelo Intelbras VIP 1130-D-G2. Uma câmera do modelo é mostrada na Figura 4.



Figura 4: Câmera de monitoramento do mesmo modelo da utilizada no AGV (Fonte: Intelbras)

Este equipamento também possui uma interface *web* que permite gerenciá-lo e visualizar as imagens. O acesso externo ao *streaming* pode ser feito com o uso do protocolo RTSP (Câmera…,202-?a).

e) Câmera de monitoramento da doca

Além da visualização das imagens do ponto de vista dos equipamentos, fez-se necessário, por segurança, um monitoramento externo. Uma terceira câmera foi instalada, localizada na doca, estrutura onde o AGV é estacionado, carregado e que abriga o computador local e os equipamentos de rede. O modelo utilizado

aqui é o Intelbras Mibo IM4, que possui um sistema de *PanTilt*, permitindo sua movimentação para monitorar o interior da doca e o processo de estacionamento, quando necessário. Uma câmera do modelo é mostrada na Figura 5.



Figura 5: Câmera Mibo IM4 similar a utilizada na doca (Fonte: Intelbras)

Diferentemente dos dispositivos anteriores, este não possui interface *web*, apenas aplicativos para as plataformas Android e iOS. O RTSP também está disponível para obter o *streaming* externamente, enquanto o *PanTilt* pode ser controlado com o uso do protocolo ONVIF (Câmera…,202-?b).

f) Computador local

Um computador industrial compacto foi instalado dentro da doca com a finalidade de executar o sistema de controle remoto e armazenar as imagens durante a missão, para posterior transmissão ao servidor remoto. Tal equipamento é exibido na Figura 6.



Figura 6: Computador Industrial Compacto instalado no interior da doca

Este computador é semelhante a um computador convencional, mas com características físicas como refrigeração passiva, carcaça sem entradas de ar e possibilidade de fixação na parede que o tornam mais adequado ao ambiente em que se encontra. Instalou-se neste computador o sistema operacional baseado em Linux Debian.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comunicação entre os equipamentos dentro da doca e instalados no AGV foi feita utilizando uma rede Ethernet. Pontos de Acesso Wi-Fi instalados na doca e no AGV permitem a transferência de dados sem fio entre os dispositivos de cada lado. A Figura 7 mostra o AGV com todas as câmeras instaladas e a Figura 8 mostra a doca instalada na subestação.



Figura 7: AGV com câmeras instaladas



Figura 8: Doca de estacionamento e recarga do AGV

- Escolha dos protocolos e tecnologias

Para o desenvolvimento da interface de controle, optou-se por criar uma interface *web*. O objetivo dessa abordagem foi ter um sistema de fácil acesso aos diversos membros do projeto de pesquisa. Além disso, o fato de quase todos os equipamentos também possuírem suas interfaces *web* levou a decisão no sentido de fazer outra da mesma forma.

Para controle do AGV e das câmeras termográficas optou-se pelo uso das APIs HTTP, mesmo quando outras opções estivessem disponíveis, de forma a simplificar o desenvolvimento, já que os três permitem fazer desta forma.

Para as três câmeras de monitoramento, além do acompanhamento da imagem termográfica sendo capturada, foi escolhido acessar o *streaming* RTSP e convertê-lo para um padrão que fosse compatível com navegadores.

Para a escolha da linguagem de programação a ser utilizada no desenvolvimento, decidiu-se utilizar a mesma linguagem de uma das bibliotecas dos equipamentos: Python, C++ ou C#. O Python e o C# possuem *frameworks* robustos para o desenvolvimento *web*, diferentemente do C++. Observando-se as APIs, verificou-se que a A310PT possuía uma interface mais simples de ser manipulada sem o uso de bibliotecas. Chegou-se, então, a decisão de utilizar a biblioteca do AGV, escrita em Python.

A linguagem Python já era utilizada em outras partes do projeto, de modo que a equipe já possuía familiaridade. Esta linguagem foi, portanto, a escolhida. Dois *frameworks* para desenvolvimento *web* em Python foram considerados: Django e Flask. O Django oferece uma plataforma mais completa, com recursos como gerenciamento de banco de dados e painel de administração integrados (Django…,201-?), enquanto o Flask é mais simples e deixa para o desenvolvedor a implementação de vários dos recursos (Flask, 201-?). Como a aplicação aqui desenvolvida não faria uso dos recursos já implementados no Django e possuía a necessidade de outras ferramentas, decidiu-se pelo desenvolvimento com Flask no *back-end*.

Já no *front-end*, o uso da linguagem JavaScript executada no próprio navegador permite um *feedback* em tempo real do estado dos dispositivos ao usuário.

A fim de permitir a visualização do andamento da missão na subestação de energia, implantou-se monitores na interface *web* que mostram as imagens capturadas tanto pela câmera termográfica quanto pelas de monitoramento. Para isso, utilizou-se o *software* ZoneMinder (ZM) para hospedar os monitores das câmeras. O ZM é um programa que habilita um completo sistema de vigilância ao permitir a captura e o monitoramento de câmeras vinculadas a uma máquina baseada no sistema operacional Linux (ZoneMinder, 2022). Nesse sentido, utilizou-se o RTSP de cada uma das câmeras no ZM, que retornou um endereço baseado em HTTP, compatível com sua abertura em navegadores *web*. Assim, embutiu-se a URL na interface *web* e, desse modo, foi possível a visualização do *streaming* delas.

Durante o processo de desenvolvimento, versões parciais da interface foram colocadas em operação para uso dos membros do projeto. O objetivo foi, além de permitir o mais brevemente possível a realização das missões, testar o funcionamento e a experiência de uso das funcionalidades. Nesse processo, *feedbacks* foram enviados pelos diversos usuários e discutidos em reuniões com a equipe do projeto. Diversas melhorias foram decididas nessas reuniões e então implementadas na versão seguinte.

Entre as mudanças adicionadas aos requisitos originais é possível citar o comando de posição do AGV em decímetros inteiros, considerando a precisão de 0,10m que o equipamento possui; o controle no giro do *PanTilt*, para evitar o enrolamento dos cabos; possibilidade de comandar apenas um dos parâmetros do *PanTilt* - azimute ou elevação - sem que o outro fosse alterado; exibição dos ângulos de azimute na faixa -180° a 180°, no lugar da faixa 0° a 360°; opção de alternar entre a exibição das 4 câmeras simultaneamente e apenas uma de maior resolução, para auxiliar as manobras.

Na figura 9 é exibida uma visão geral da interface atualmente, com o controle dos equipamentos sendo mostrados.

Os *streamings* das câmeras termográfica e de segurança, no modo de quatro câmeras simultâneas (mosaico), são exibidos da Figura 10, onde a) permite ao usuário ativar e desativar as câmeras conforme a necessidade; b) permite alternar entre o modo de quatro câmeras ou câmera única de maior tamanho (Carrossel). A imagem da câmera termográfica é exibida em c), enquanto d) e e) mostram as câmeras de monitoramento frontal e traseira, respectivamente, do AGV e f) a câmera da doca. Na figura 11 é exibido a interface no modo de câmera única.

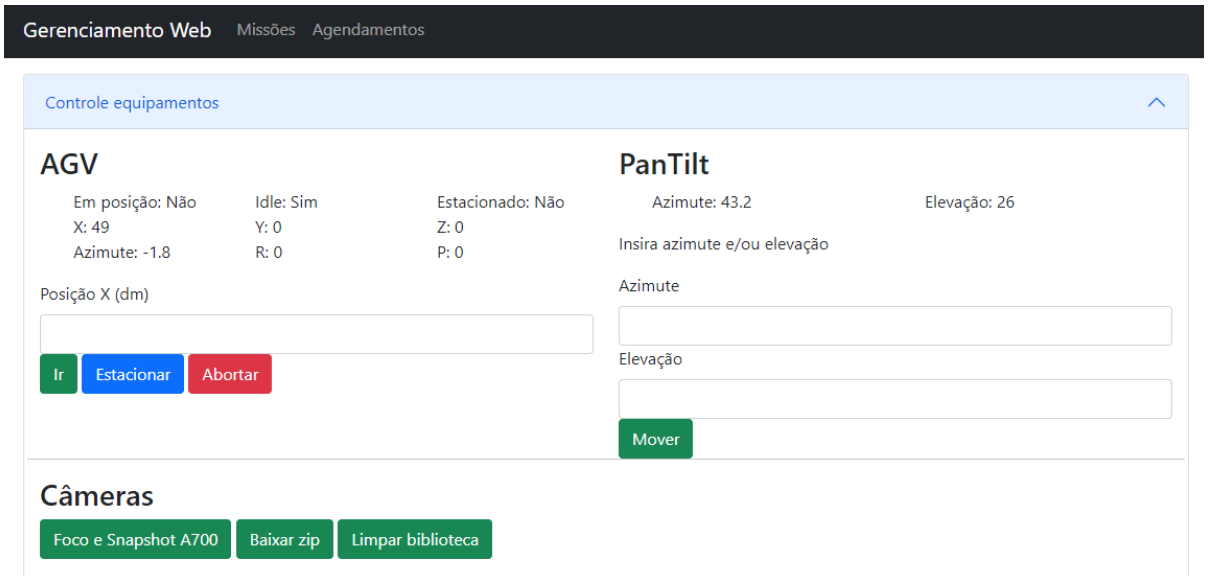


Figura 9: Visão geral da interface *web*

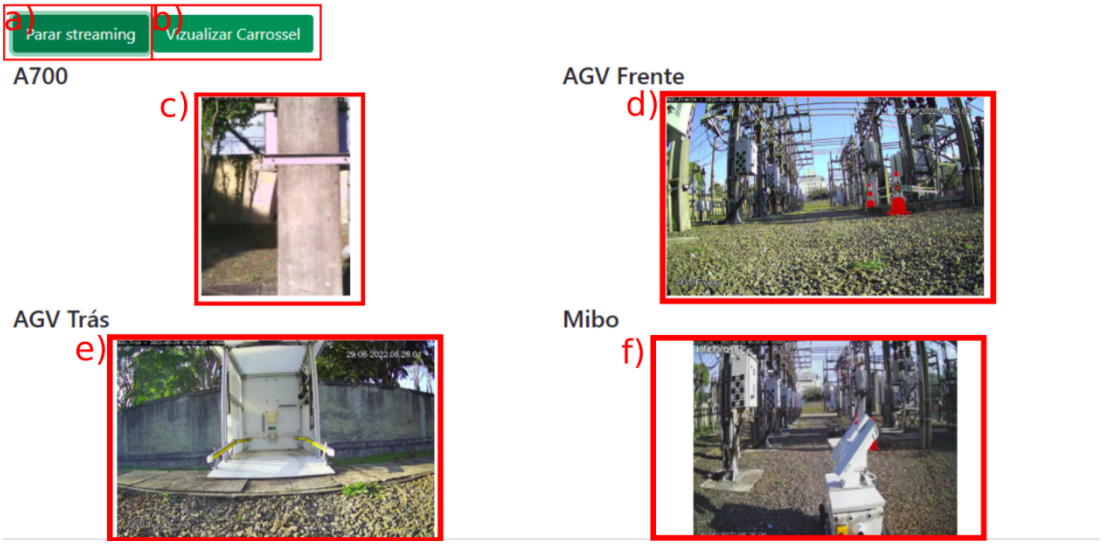


Figura 10: *Streaming* das câmeras de monitoramento e termográfica na interface *web*

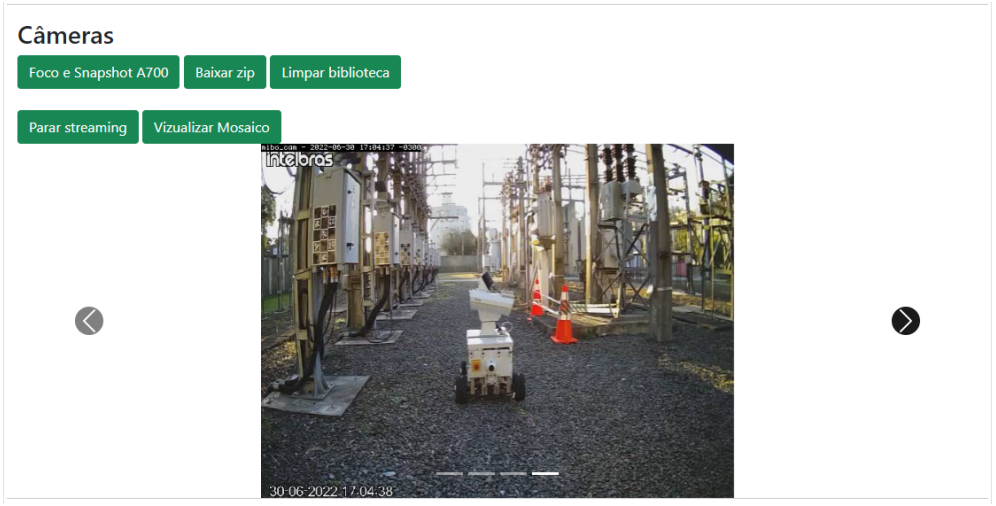


Figura 11: *Streaming* de apenas uma câmera

Na Figura 12, em destaque o controle do AGV, onde é exibido: a) Informações de status em tempo real; b) campo para inserir a posição X, em decímetros, para onde se deseja enviar o veículo; e c) botões para executar os comandos.



Figura 12: Painel de informações do AGV

Na figura 13, estão os controles do *PanTilt*, sendo: a) a posição atual; b) e c) os campos para inserir o azimute e a elevação, respectivamente, para onde se deseja mover, e d) o botão para enviar os comandos ao *PanTilt*.

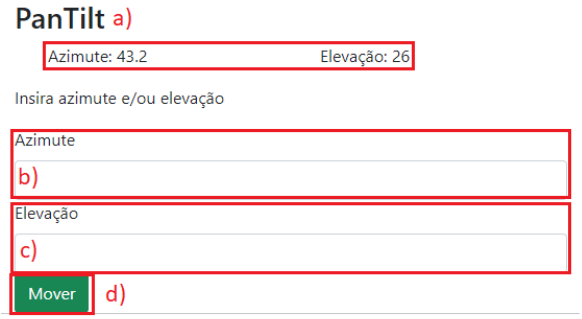


Figura 13: Painel de informações do *PanTilt*

Na Figura 14, são mostrados os comandos da câmera termográfica A700, onde: a) executa o autofoco da câmera, realiza a captura da imagem e a armazena internamente no mini computador instalado na subestação; b) baixa todas as imagens salvas no computador em formato ZIP, e c) apaga as imagens da memória interna do computador.

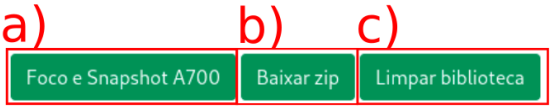


Figura 14: Comandos da câmera termográfica A700

CONCLUSÃO

A operação dos equipamentos individualmente através de suas respectivas interfaces, embora possível, demandaria um gasto a mais de tempo e um acréscimo de complexidade na realização das missões. Seria necessário alternar entre diversas janelas para comandar os movimentos do AGV; do *PanTilt*; realizar a captura das imagens; e obter o *feedback*, seja visual, seja pelas informações de status. Com o uso de uma interface única, um ganho de tempo e produtividade com a realização das missões se torna possível.

A padronização da utilização de protocolos HTTP dos equipamentos utilizados foi essencial para o processo de desenvolvimento da interface *web*, visto que, com essa funcionalidade e seus devidos ajustes em cada componente em particular, o sistema pode ser operado em navegadores *web*. Além disso, pelo fato de suas funcionalidades serem intuitivas e apresentar um visual amigável, o trabalho dos operadores é facilitado.

Novas demandas já estão previstas para o desenvolvimento. A principal delas é a automatização das missões, com o acréscimo de uma ferramenta para registrar os pontos em que se deseja obter as imagens termográficas e de outra ferramenta para comandar os equipamentos para tais pontos de forma automática, cabendo ao usuário apenas a tarefa de monitorar e agir em caso de falhas não previstas. Recursos menores que também estão previstos em trabalhos futuros incluem a disponibilização de dados ambientais na interface e a possibilidade de controlar a iluminação da subestação em missões noturnas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR pelo apoio e infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento desta pesquisa e à COPEL - Distribuição pelo apoio e financiamento dos recursos para realização do projeto P&D ANEEL/COPEL Distribuição PD-2866-0528/2020 - Desenvolvimento de Metodologia para Análise Automática de Imagens Térmicas.

REFERÊNCIAS

Câmera Dome compatível com a tecnologia PoE. **Intelbras**. 202-?. Disponível em: <https://www.intelbras.com/pt-br/camera-dome-compativel-com-a-tecnologia-poe-vip-1130-d-g2>. Acesso em: 31 de mai. de 2022

Câmera interna Inteligente Wi-Fi Full HD 360°. **Intelbras**. 202-?. Disponível em: <https://www.intelbras.com/pt-br/camera-interna-inteligente-wi-fi-full-hd-360deg-im4-c>. Acesso em: 31 de mai. de 2022

Django Overview. **Django**. 201-?. Disponível em: <https://www.djangoproject.com/start/overview/>. Acesso em: 14 de jun. de 2022

Flask. **The Pallets Projects**. 201-?. Disponível em: <https://palletsprojects.com/p/flask/>. Acesso em: 14 de jun. de 2022

Flir A310 PT (Automation). **Teledyne Flir**. 201-?. Disponível em: <https://www.flir.com.br/products/a310-pt-automation/>. Acesso em: 31 de mai. de 2022

Flir Axxx-Series com streaming de imagem. **Teledyne Flir**. 201-?. Disponível em: <https://www.flir.com.br/products/axxx-series-image-streaming/?model=85900-0000-T300292&vertical=rd+science&segment=solutions>. Acesso em: 31 de mai. de 2022

Hosoya, G.; Samed, M.; **Análise sobre Sistemas Automatizados que Visam a Segurança do Trabalho**. Trabalhos de Conclusão de Curso do DEP, Volume 5, Número 1, 2009.

Lee, J.; Kim, B.; Sun, D.; Han, C.; Ahn, Y. **Development of Unmanned Excavator Vehicle System for Performing Dangerous Construction Work**. Sensors, Número 22. 2019.

Monteiro, B. S.; Fernandes, M. F.; da Silva, A. V.; Leite, L. H. M. **Inspeção em Subestações Utilizando a Termografia**. Revista Científica Semana Acadêmica, Edição 41, Volume 01. 2013.

Pastori, D. C.; Rodolpho, D. **Tecnologia na Segurança do Trabalho em Robótica**. Revista Interface Tecnológica, Volume 17, Número 2, Páginas 806–816. 2020.

Rocha, V.; Delabrida, S. **Augmented Reality Applied to Reducing Risks in Work Safety in Electric Substations**. 23rd International Conference on Enterprise Information Systems, Volume 2, Páginas 533-540. 2021.

Tagliari, I.; Botura Junior, G.; Rosa, L. C.; Marques, M. A. **Automação em Processos Produtivos Baseada em Instrumentação Virtual**. Conference: 9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications (INDUSCON 2010). 2010.

Zhuang, F.; Zupan C.; Chao Z.; Yanzheng Z. **A cable-tunnel inspecting robot for dangerous environment**. International Journal of Advanced Robotic Systems. 2008.

ZoneMinder. **ZoneMinder**. 2022. Disponível em: <https://github.com/ZoneMinder/zoneminder>. Acesso em: 17 de jun. de 2022.