



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS
CATEGORIA 3

ASSISTENTE VIRTUAL DO CCO: VISÃO COMPUTACIONAL APLICADA AO
SUORTE À DECISÃO OPERACIONAL

1. INTRODUÇÃO

O Centro de Controle Operacional (CCO) exerce papel central na supervisão da circulação dos trens e na coordenação das estratégias operacionais de um sistema metroviário. Nesse ambiente, os painéis de monitoramento concentram grande volume de informações, que precisam ser acompanhadas continuamente pela equipe de controle, em conjunto com outros sistemas e canais de comunicação, como radiocomunicação, telefonia e ferramentas de apoio à operação.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 1 – Ambiente do Centro de Controle Operacional e painel de monitoramento de trens. Fonte: Metrô de São Paulo / acervo do projeto

A identificação rápida de condições operacionais anormais é fator essencial para apoiar a tomada de decisão e a definição de estratégias de atuação. Quando uma ocorrência é percebida com maior antecedência, torna-se possível priorizar recursos, orientar comunicações, acompanhar a evolução do evento e reduzir seus impactos sobre a regularidade da circulação. Esse aspecto ganha relevância ainda maior em ambientes de operação intensiva, nos quais o operador precisa dividir sua atenção entre múltiplos estímulos visuais, sonoros e informacionais.

Nesse contexto, a Engenharia de Operações do Metrô de São Paulo desenvolveu o Assistente Virtual do CCO, uma solução de monitoramento assistido por visão



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

computacional aplicada aos painéis de circulação de trens. A ferramenta analisa, em tempo real, a imagem exibida no *videowall*, acompanha a movimentação das composições e auxilia na detecção de padrões associados a eventos de interesse operacional, emitindo alertas para apoio à percepção situacional e à tomada de decisão, conceito definido por Endsley (1995) como a capacidade de perceber, compreender e projetar a evolução dos elementos de um ambiente dinâmico.

Além de sua contribuição operacional, o projeto representa um caso de inovação aplicada, desenvolvido com recursos internos, conhecimento técnico da própria Companhia e participação das áreas envolvidas na operação e manutenção dos sistemas. Sua evolução ocorreu de forma incremental, com ciclos de prototipação, validação, coleta de feedback dos usuários e aperfeiçoamentos sucessivos, seguindo princípios compatíveis com a abordagem *Lean Startup*¹.

2. DIAGNÓSTICO

A operação metroviária exige elevado nível de atenção e coordenação em tempo real. No CCO, a equipe de controle acompanha simultaneamente a circulação dos trens, as comunicações operacionais e as informações disponibilizadas nos painéis de grande porte. Em linhas com maior quantidade de trens em circulação, a identificação visual de uma composição parada ou de uma condição operacional anormal pode se tornar mais

¹ Lean Startup é uma metodologia de desenvolvimento baseada em ciclos iterativos de Construir-Medir-Aprender (*Build-Measure-Learn*), focada na validação rápida de hipóteses por meio de Produtos Mínimos Viáveis (MVPs).



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

complexa, especialmente quando o painel não dispõe de alerta específico para determinados eventos.

Um estudo desenvolvido pela equipe de inovação da Engenharia de Operações identificou que atrasos na percepção inicial de trens parados poderiam contribuir para o aumento do tempo de atuação operacional. O relatório técnico, elaborado a partir de análises realizadas em 2022, apontou oportunidades de melhoria relacionadas à detecção e comunicação do início das anormalidades ao CCO, com potencial de reduzir impactos sobre a circulação dos trens e apoiar a definição de estratégias operacionais mais ágeis.

Esse diagnóstico evidenciou a oportunidade de desenvolver uma solução capaz de reforçar a percepção situacional do operador, destacando automaticamente eventos de interesse operacional no painel de trens. O objetivo não era automatizar a decisão, mas oferecer um recurso complementar de apoio visual à equipe do CCO, favorecendo a priorização das ocorrências e uma atuação mais rápida diante das anormalidades.

Outro fator relevante foi a existência de sistemas de sinalização proprietários, nos quais não havia acesso direto ao código-fonte nem possibilidade simples de alteração da lógica nativa de exibição dos painéis. Essa limitação tornou necessária uma abordagem alternativa: desenvolver uma camada de análise baseada na leitura da própria imagem exibida no painel, sem interferir diretamente no software principal responsável pela representação gráfica da circulação.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Em cenários de operação *driverless*, especialmente em configurações GOA4², essa necessidade de apoio à percepção situacional ganha relevância adicional, uma vez que os trens circulam sem operador embarcado e o Centro de Controle assume papel ainda mais intensivo no acompanhamento das variáveis operacionais. Nesse contexto, ferramentas de monitoramento assistido podem ampliar a capacidade de observação contínua e contribuir para respostas mais rápidas diante de eventos de interesse operacional.

3. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento do Assistente Virtual do CCO, uma solução baseada em visão computacional aplicada ao suporte à decisão operacional no Metrô de São Paulo. A ferramenta foi concebida para monitorar, em tempo real, os painéis de circulação de trens exibidos no *videowall*, identificar padrões associados a condições operacionais de interesse e emitir alertas visuais ou audiovisuais que auxiliem a equipe do CCO na priorização e no tratamento das ocorrências.

Também se busca demonstrar como o desenvolvimento interno, combinado com metodologia ágil, prototipação incremental, conhecimento operacional e uso de tecnologias acessíveis, pode gerar soluções aderentes ao ambiente real de operação, mesmo diante de restrições técnicas impostas por sistemas proprietários.

² GOA4 (*Grade of Automation 4*), nível máximo de automação ferroviária, conforme IEC 62290-1 (2014), caracterizado pela operação sem condutor embarcado (*Unattended Train Operation*).



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

4. METODOLOGIA

A metodologia de desenvolvimento do Assistente Virtual do CCO foi inspirada nos princípios da abordagem Lean Startup, proposta por Ries (2012), estruturada em ciclos de construção, medição e aprendizado. Essa lógica permitiu transformar uma necessidade operacional em uma solução progressivamente validada, ajustada e aperfeiçoada com base no uso real e no *feedback* dos operadores.

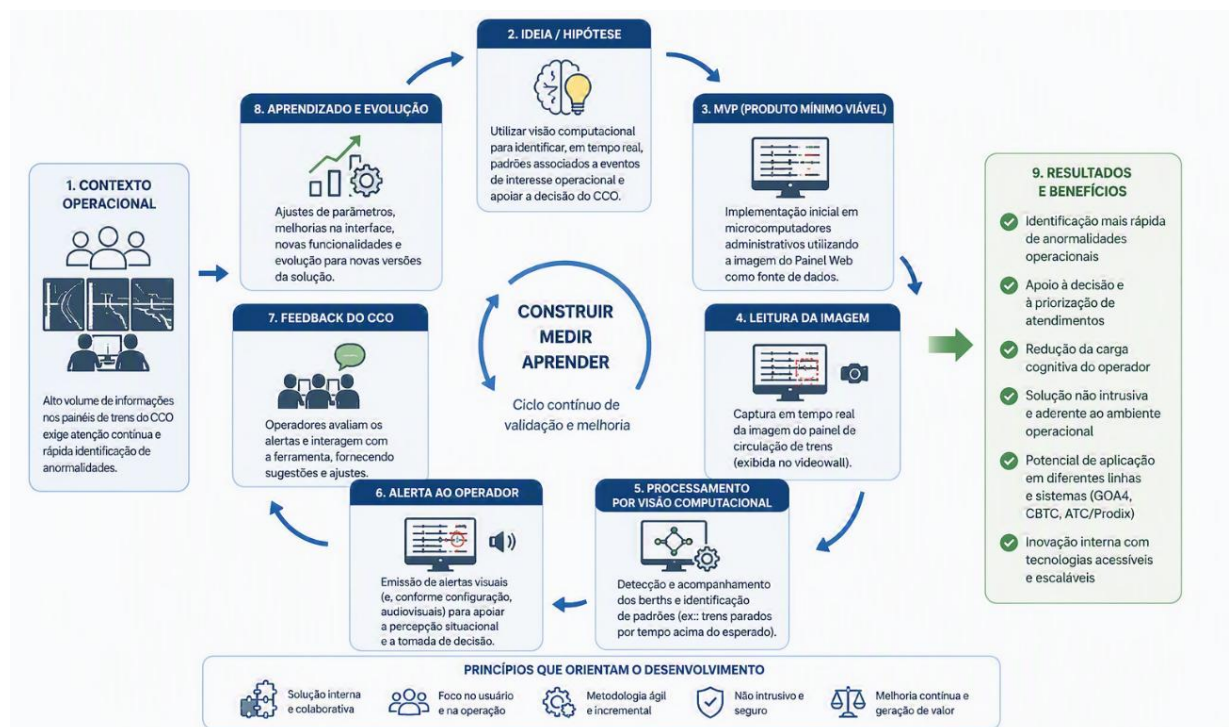


Figura 2 - Ciclo de desenvolvimento do Assistente Virtual do CCO, baseado em MVP, validação operacional e aperfeiçoamento incremental da solução de monitoramento por visão computacional. Fonte: Elaborado pelos autores.

O primeiro passo foi a criação de um Produto Mínimo Viável (MVP), concebido para operar em microcomputadores administrativos localizados próximos ao console do



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

operador. Essa versão inicial utilizava o Painel Web como fonte de dados para análise de imagens, evitando intervenção direta na rede operacional e permitindo testar o conceito de monitoramento assistido em ambiente mais controlado.

O MVP monitorava a movimentação das representações gráficas dos trens no painel e identificava situações em que uma composição permanecia parada por período superior ao esperado. Ao reconhecer essa condição, a ferramenta destacava visualmente o trem, em tempo real, e exibia um cronômetro com o tempo acumulado da parada. A lógica de cores evoluía conforme o tempo de permanência — amarelo, laranja e vermelho — permitindo ao operador visualizar a progressão temporal do evento e priorizar estratégias em caso de múltiplos alarmes.

Com a utilização prática, foram incorporados recursos complementares, como pop-ups, avisos sonoros, informações de voz e parametrizações conforme a preferência operacional. Para apoiar os usuários no ciclo de validação do MVP, a equipe de desenvolvimento também elaborou e disseminou um manual operacional com a abrangência e as funcionalidades do Assistente Virtual do CCO. O manual registrava que o sistema processava, em tempo real, a imagem do painel de trens, acompanhava a movimentação na região de operação comercial e notificava o operador por meio de alertas visuais e informações de voz quando identificava parada acima do tempo esperado.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A evolução do sistema foi direcionada pelos aprendizados obtidos em campo. A primeira forma de marcação visual, baseada em retângulos, mostrou-se funcional, mas gerava poluição visual e podia causar ambiguidade com outras sinalizações existentes no painel. A partir desse retorno, a interface foi redesenhada e passou a utilizar um ícone de relógio piscante sobre a representação gráfica do trem, solução mais intuitiva e menos invasiva, com melhor aderência à experiência do usuário.

5. DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

O Assistente Virtual do CCO foi desenvolvido como uma ferramenta de análise automatizada da imagem do painel de trens. Sua lógica central consiste em capturar a visualização exibida no *videowall*, aplicar técnicas de visão computacional e processamento de imagens, identificar elementos operacionais e acompanhar continuamente a movimentação das composições na região de operação comercial.

A solução foi concebida para operar de forma não intrusiva³, utilizando exclusivamente a leitura da imagem exibida nos painéis. Essa característica foi decisiva para viabilizar sua aplicação em ambientes com sistemas de sinalização fechados e proprietários, nos quais a alteração do software principal não era uma alternativa disponível. Em vez de modificar o sistema original, o Assistente Virtual atua como camada complementar de observação e alerta.

³ Considera-se não intrusiva a solução que opera sem modificar os sistemas operacionais existentes nem acessar diretamente sua lógica interna de processamento.



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 3 — Arquitetura funcional não intrusiva do Assistente Virtual do CCO: leitura da imagem do painel, processamento por visão computacional e geração de alertas para suporte à decisão operacional. Fonte: Elaborado pelos autores.

A segunda versão do Assistente Virtual representou um avanço importante. Após a primeira fase em microcomputadores administrativos, a ferramenta evoluiu para integração direta ao painel do Centro de Controle.

Nessa fase, a solução passou a operar como um software com interface transparente sobreposta à imagem do painel de circulação dos trens, realizando capturas sucessivas dos elementos gráficos de sinalização. Cada frame capturado é processado e os padrões de interesse são buscados na imagem por meio de técnicas de visão computacional.

Quando um padrão operacional de interesse é detectado, o Assistente pode emitir alertas sonoros e/ou visuais por meio de marcações não transparentes, realçando o



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

evento para ampliar a percepção situacional⁴ do operador do CCO. Foi realizado um estudo cuidadoso para que os alarmes visuais gerados pelo Assistente Virtual não conflitassem com as demais sinalizações existentes no painel principal, complementando as sinalizações originais sem alteração do software proprietário. Essa transição exigiu adaptações técnicas a diferentes ambientes, inclusive sistemas baseados em CBTC e ATC/Prodix⁵, além de ajustes relacionados a versões de Windows, compatibilidade com Python e diferenças entre os ambientes de teste e operação.

Na evolução da interface, a solução passou a utilizar um ícone de relógio piscante para indicar trens parados, com alteração de cor conforme o tempo de permanência. Essa evolução reduziu a poluição visual, facilitando a percepção pelo operador.



Figura 4 — Evolução da interface do Assistente Virtual do CCO: ícone de relógio piscante sobre a representação gráfica do trem. Fonte: Elaborado pelos autores.

⁴ Percepção situacional (*Situation Awareness*) corresponde à capacidade de perceber elementos do ambiente, compreender seu significado e projetar sua evolução futura para apoiar a tomada de decisão.

⁵ *Communication-Based Train Control* (CBTC) é uma tecnologia de sinalização ferroviária baseada em comunicação contínua entre trens e equipamentos de via. ATC/Prodix refere-se aqui aos sistemas convencionais, com lógica de comando e controle baseado em blocos fixos.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

6. APLICAÇÕES OPERACIONAIS E ESCALABILIDADE

A aplicação do Assistente Virtual do CCO demonstrou potencial de uso em diferentes contextos operacionais. Um estudo de inovação e tecnologia da Engenharia de Operações do Metrô de São Paulo registra que os alarmes baseados em visão computacional permitem a detecção em tempo real de anormalidades nos sistemas e equipamentos operacionais do CCO, gerando alertas diretamente no painel de controle.

Outro aspecto relevante é o desenvolvimento interno da solução, com utilização de bibliotecas Python para análise de imagens e algoritmos configurados para exibir alarmes visuais no *videowall*, monitorando a evolução do tempo de permanência da composição parada.

A ferramenta também apresentou capacidade de adaptação a diferentes linhas e tecnologias. Após a validação do MVP, o projeto foi escalado para implantação nos painéis das Linhas 1-Azul, 2-Verde e 3-Vermelha, além de aplicação em microcomputador na Linha 15-Prata, em contexto de operação *driverless*. A solução demonstrou robustez ao operar por período prolongado sem apresentar queda de desempenho ou anormalidades relevantes.

Além disso, a abordagem baseada em visão computacional permitiu a integração bem-sucedida com diferentes sistemas de tecnologia operacional, como Prodig na Linha 3-Vermelha e CBTC nas Linhas 1-Azul e 2-Verde. Esse aspecto fortalece a escalabilidade da



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

solução, pois demonstra que a leitura automatizada de imagem pode ser ajustada a diferentes configurações de painéis, sistemas e condições operacionais, desde que realizados os ajustes técnicos necessários para cada ambiente.

7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os benefícios do Assistente Virtual do CCO estão associados ao suporte à percepção situacional, à padronização da identificação de eventos de interesse operacional e à possibilidade de respostas mais rápidas diante de anormalidades. A ferramenta não substitui o operador do Centro de Controle; atua como recurso complementar ao processo decisório, destacando visualmente situações que merecem atenção da equipe de controle.

Entre os principais benefícios observados, destacam-se:

- **Apoio à identificação de trens parados por tempo anormal**, por meio da leitura automatizada da imagem do painel e geração de alertas visuais.
- **Possibilidade de análise offline de grandes volumes de imagens gravadas**, com significativa redução do tempo necessário para detecção de padrões e geração de relatórios operacionais, ampliando a dimensão analítica da ferramenta.
- **Redução da poluição visual na interface**, a partir da substituição dos retângulos iniciais por ícone de relógio piscante sobre a representação gráfica do trem.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- **Aderência ao ambiente operacional**, com evolução baseada em feedback dos operadores e ajustes de interface, personalização e parâmetros de alerta.
- **Adaptação a sistemas proprietários**, sem necessidade de alterar o software principal responsável pela exibição dos painéis de trens.
- **Fortalecimento da inovação interna**, com desenvolvimento realizado por equipes da Companhia, uso de tecnologias acessíveis e aplicação direta ao desempenho operacional.

Além dos benefícios observados, a trajetória de implantação da ferramenta constitui um indicador relevante de sua aderência ao ambiente operacional. A solução evoluiu de um Produto Mínimo Viável para utilização em diferentes ambientes e tecnologias de sinalização, mantendo sua relevância operacional mesmo após mudanças de infraestrutura no CCO.

Nesse contexto, a solicitação de reinstalação da ferramenta após a modernização do *videowall* pode ser interpretada como um indicativo da percepção de valor atribuída pelos usuários e de sua utilidade como recurso de apoio à supervisão operacional. Adicionalmente, a estabilidade observada durante sua utilização em ambiente operacional real e a expansão das funcionalidades ao longo do tempo demonstram o potencial da abordagem para novas aplicações de monitoramento assistido por visão computacional.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A partir dos benefícios gerados no ambiente do CCO, é possível observar reflexos na regulação do sistema e na oferta de melhor experiência de viagem aos passageiros, além de potencial contribuição para a redução de impactos nos indicadores da Companhia.

8. DISCUSSÃO

O desenvolvimento do Assistente Virtual do CCO evidencia que a inovação operacional não depende exclusivamente de grandes sistemas ou contratações externas. Em muitos casos, o conhecimento acumulado pelas equipes internas, quando combinado com tecnologias acessíveis e metodologia adequada, permite a criação de soluções de alto valor para o ambiente operacional.

A abordagem adotada também demonstra a importância do desenvolvimento orientado ao usuário. A evolução da interface, especialmente a substituição do marcador retangular pelo ícone de relógio piscante, não foi apenas uma alteração estética, mas um aperfeiçoamento funcional motivado pela experiência real de uso e pela necessidade de reduzir interferências visuais no painel.

Outro ponto de destaque é a característica não intrusiva da solução. Ao operar por análise de imagem, o Assistente Virtual evita a necessidade de integração direta com sistemas proprietários, reduzindo barreiras técnicas e ampliando a possibilidade de adaptação a diferentes linhas, painéis e tecnologias de sinalização.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Em cenários *driverless*, essa abordagem tende a ganhar importância estratégica. A ausência de operador embarcado aumenta a relevância do Centro de Controle como núcleo de supervisão e tomada de decisão, reforçando a necessidade de ferramentas capazes de ampliar a percepção situacional e apoiar a identificação rápida de eventos de interesse operacional.

Além dos benefícios atualmente observados, o Assistente Virtual do CCO demonstra que técnicas de visão computacional podem ser incorporadas ao ambiente metroviário de forma incremental, utilizando tecnologias acessíveis e com baixo impacto sobre sistemas legados. Essa característica amplia o potencial de aplicação da solução para novos casos de uso operacionais, reforçando sua capacidade de evolução e sua contribuição para a modernização dos processos de supervisão e controle.

9. CONCLUSÕES

O Assistente Virtual do CCO representa uma aplicação prática de visão computacional voltada ao suporte à decisão operacional no ambiente metroviário. Desenvolvida internamente no Metrô de São Paulo, a solução surgiu a partir da identificação de uma necessidade real do Centro de Controle Operacional: ampliar a capacidade de percepção de eventos relevantes em um ambiente caracterizado por elevada carga informacional e necessidade constante de acompanhamento da circulação dos trens.

As análises operacionais que motivaram o desenvolvimento da solução identificaram ocorrências cuja mitigação estava diretamente associada à redução do tempo



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

necessário para a percepção inicial do problema. Esse diagnóstico evidenciou o potencial da utilização de recursos automatizados de monitoramento para ampliar a percepção situacional dos operadores e complementar as atividades de supervisão realizadas pelo Centro de Controle Operacional.

A trajetória do projeto demonstra a efetividade de uma abordagem incremental baseada em prototipação, validação operacional e aperfeiçoamento contínuo. A evolução de um Produto Mínimo Viável para uma solução aplicada em diferentes ambientes e tecnologias de sinalização evidenciou a viabilidade da abordagem proposta, mesmo diante das restrições impostas por sistemas proprietários e legados.

Além dos benefícios associados ao monitoramento assistido em tempo real, a solução demonstrou potencial para aplicações complementares de análise de imagens e investigação operacional, ampliando seu alcance para além da supervisão convencional. A estabilidade observada durante sua utilização em ambiente operacional e a continuidade de sua evolução funcional reforçam sua aderência às necessidades reais da operação.

A solicitação de reinstalação do Assistente Virtual após a modernização da infraestrutura do Centro de Controle constitui uma evidência adicional da percepção de valor atribuída pelos usuários, demonstrando que a ferramenta passou a integrar a rotina operacional como recurso de apoio à supervisão e ao tratamento de ocorrências.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Dessa forma, o Assistente Virtual do CCO transcende a condição de uma ferramenta tecnológica específica e demonstra como conhecimento operacional, desenvolvimento interno e tecnologias acessíveis podem ser convertidos em soluções de alto valor para o transporte metroviário. Os resultados obtidos indicam que abordagens não intrusivas baseadas em visão computacional possuem potencial para contribuir com a modernização dos processos de supervisão, ampliando a percepção situacional dos operadores e criando oportunidades para novas aplicações de monitoramento inteligente no ambiente do Centro de Controle Operacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. RT – Startup Enxuta: Assistente do CCO. Documento técnico interno. São Paulo: Companhia do Metropolitano de São Paulo, 2022.

ENDSLEY, Mica R. Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. Human Factors, v. 37, n. 1, p. 32-64, 1995.

IEC. IEC 62290-1:2014 – Railway Applications – Urban Guided Transport Management and Command/Control Systems – Part 1: System Principles and Fundamental Concepts. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2014.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

RIES, Eric. A Startup Enxuta: Como os Empreendedores Atuais Utilizam a Inovação Contínua para Criar Empresas Extremamente Bem-Sucedidas. São Paulo: Lua de Papel, 2012.

SZELISKI, Richard. Computer Vision: Algorithms and Applications. 2. ed. Cham: Springer, 2022.