O Olho do Mineiro diante da Escala do Invisível: Desafios da Visão Artificial e da Inferência Industrial Profunda

Por Hernán H. Antonelli



Na engenharia de processos de alta complexidade, a transferibilidade da inteligência está redefinindo a fronteira da automação. Durante décadas, a indústria operou sob a premissa de que os problemas de escala eram desafios isolados de hardware, supondo, por exemplo, que detectar impurezas milimétricas no iodo e reconhecer peças metálicas de grandes dimensões no cobre não compartilhavam o mesmo DNA técnico.

Um estudo desenvolvido por Raymi Vásquez, Gerente de Tecnologia da STGI Mining, no âmbito de seu doutorado no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidad de Chile, aborda o uso de visão e inteligência artificial explicável para o monitoramento contínuo de processos de mineração. O desafio central é ampliar a capacidade de observação operacional por meio de sistemas baseados em câmeras e IA, capazes de monitorar pontos de difícil acesso, áreas de alta complexidade ou processos nos quais a supervisão humana permanente é limitada.

Nesses ambientes, a IA permite detectar anomalias visuais de forma contínua, mesmo sob condições adversas, como poeira, vibrações, mudanças de iluminação e desfoque de movimento, nas quais o olho humano deixa de ser uma referência suficiente para assegurar a confiabilidade operacional.

A automação como imperativo de segurança e impacto industrial

No debate atual sobre mineração subterrânea, surge uma pergunta crítica: por que a automação se torna vital hoje? A resposta vai além da eficiência operacional. Segundo relatórios de instituições como o Sernageomin, 2025 registrou um aumento de 60% nas fatalidades em relação ao ano anterior, concentradas em áreas de alta exposição. Diante de fenômenos geomecânicos complexos, como o desprendimento de placas de rocha ou as explosões de rocha, documentos estratégicos da Codelco enfatizam que o monitoramento autônomo é o caminho para retirar os trabalhadores das áreas de risco.

Sob a perspectiva da engenharia, a motivação industrial para automatizar esses processos é crítica: objetos anômalos podem comprometer a qualidade do produto final, reduzir a continuidade operacional e provocar danos catastróficos em equipamentos críticos. A pesquisa de Vásquez aborda essa problemática por meio de dois estudos de caso selecionados para avaliar a transferibilidade tecnológica: o Caso A, que detecta anomalias em uma linha de envase de iodo, e o Caso B, que identifica objetos metálicos de grandes dimensões na descarga de uma escavadeira de roda de caçambas. Ambos demonstram que, embora as escalas e os planos de fundo sejam diferentes, o problema da detecção industrial pode ser tratado dentro de uma estrutura comum.

Condições habilitadoras: metodologia e o fim da caixa-preta

Para enfrentar os desafios mencionados, Vásquez propõe um algoritmo estruturado em um fluxo de trabalho. O sucesso depende de um fluxo de trabalho reproduzível, baseado em YOLO (detecção visual em tempo real) e executado em Edge AI — inteligência artificial na borda, processada em campo, próxima ao processo. A chave está na geometria da câmera, na resolução espacial efetiva e na definição da região de interesse (ROI), projetada de acordo com a trajetória esperada da anomalia.

O processo técnico envolve a aquisição de imagens RGB industriais para treinar um detector YOLO que analisa o fluxo quadro a quadro. O tratamento da escala é fundamental: utilizam-se recortes e mosaicos para objetos pequenos e inferência com campo de visão global para objetos grandes. Para garantir a confiabilidade do sistema, aplica-se um filtro de persistência: o alerta só é acionado quando a inteligência artificial apresenta um alto grau de confiança no que detecta e essa detecção se mantém estável ao longo de vários quadros consecutivos do vídeo.

O valor da integração e da análise dos resultados

A resposta técnica ao dilema da integração está na Manutenção Preditiva (PdM). Relatórios da iSE-Academy e da Gerens destacam que a inteligência artificial atua hoje como um cérebro capaz de processar até 5,4 TB de dados por dia. Para quem toma decisões técnicas, o valor real se consolida por meio da Inteligência Artificial Explicável (XAI), que permite ao operador auditar a confiança do modelo e a persistência do evento.

A avaliação operacional desses sistemas combina métricas precisas de engenharia: a precisão, para quantificar a seletividade e evitar falsos alarmes; o recall, para assegurar a sensibilidade a falhas críticas; e a latência, para medir o tempo efetivo de resposta entre a captura e o alerta. Os resultados deste estudo confirmam que a transferibilidade é viável quando se mantém o objetivo de detecção e se adaptam apenas a configuração da imagem e o tratamento da escala, permitindo que um mesmo modelo seja eficaz em regimes visuais totalmente opostos.

Do esboço à implementação: a proposta da STGI Mining

Essa visão científica é a que a STGI Mining validou em campo, em operações de empresas líderes da mineração chilena, enfrentando desafios reais em ativos e processos industriais complexos. A STGI Mining é uma empresa de inovação tecnológica que não vende software ou sensores separadamente: desenvolve soluções completas de inteligência operacional de ponta a ponta.

Nossa metodologia acompanha todo o ciclo de vida do projeto: desde o esboço inicial da instrumentação com sensores e da óptica sob medida, passando pela implementação de hardware industrial IP67 e modelos avançados de IA, até o monitoramento preditivo contínuo por meio de dashboards em tempo real.

Ao integrar hardware, software e inferência preditiva explicável (XAI), a STGI Mining projeta ecossistemas tecnológicos que permitem antecipar falhas, reduzir paradas não programadas e melhorar a segurança operacional. Somente com essa engenharia integral é possível garantir que o olho da mineração nunca pisque diante do invisível, transformando o risco na certeza da continuidade operacional.

© Todos os direitos reservados. O uso ou a reprodução deste documento sem autorização expressa da STGI não é permitido..