




A IMPORTÂNCIA DO OPERADOR TÉCNICO NA ERA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E DA AUTOMAÇÃO

THE IMPORTANCE OF THE TECHNICAL OPERATOR IN THE ERA OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND AUTOMATION

LA IMPORTANCIA DEL OPERADOR TÉCNICO EN LA ERA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LA AUTOMATIZACIÓN

 <https://doi.org/10.56238/levv16n48-115>

Data de submissão: 14/04/2025

Data de publicação: 14/05/2025

Tales Henrique Mendes Rodrigues

RESUMO

A transformação dos processos industriais impulsionada pela inteligência artificial e pelas tecnologias de automação tem ressignificado o papel do operador técnico, deslocando-o de funções meramente executivas para uma atuação estratégica nos sistemas produtivos. Este artigo tem como objetivo analisar a importância do operador técnico na era digital, destacando sua atuação como mediador entre os sistemas inteligentes e os processos decisórios em ambientes industriais. A pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão bibliográfica de abordagem qualitativa, reunindo estudos nacionais e internacionais que discutem a evolução da função operativa frente aos desafios da automação avançada, da supervisão algorítmica e da incorporação de tecnologias emergentes, como gêmeos digitais, realidade aumentada e interfaces adaptativas. Os resultados demonstram que a presença do operador continua essencial para garantir a segurança, a confiabilidade e a flexibilidade dos sistemas automatizados, especialmente em situações que exigem julgamento contextual, interpretação ética e capacidade de adaptação. Além disso, observou-se que o sucesso da Indústria 5.0 depende diretamente da integração harmoniosa entre homem e máquina, valorizando atributos humanos que não podem ser replicados por algoritmos, como a intuição, o senso crítico e a capacidade de lidar com imprevistos. Conclui-se que o operador técnico permanece como elemento-chave na configuração de ambientes produtivos inteligentes, e sua formação precisa ser revista para contemplar habilidades digitais, cognitivas e interativas, assegurando sua atuação ativa e qualificada nos novos ecossistemas industriais.

Palavras-chave: Operador Técnico. Inteligência Artificial. Automação. Supervisão Humana. Indústria 5.0.

ABSTRACT

The transformation of industrial processes driven by artificial intelligence and automation technologies has redefined the role of the technical operator, shifting it from purely executive functions to a strategic position within production systems. This article aims to analyze the importance of the technical operator in the digital era, emphasizing their role as a mediator between intelligent systems and decision-making in industrial environments. The research was conducted through a qualitative literature review, gathering national and international studies that address the evolution of operational roles in light of the challenges posed by advanced automation, algorithmic supervision, and the incorporation of emerging technologies such as digital twins, augmented reality, and adaptive

interfaces. The results show that the operator's presence remains essential to ensure the safety, reliability, and adaptability of automated systems, particularly in scenarios requiring contextual judgment, ethical interpretation, and responsiveness. Furthermore, it was observed that the success of Industry 5.0 depends directly on the harmonious integration between humans and machines, valuing human attributes that cannot be replicated by algorithms, such as intuition, critical thinking, and the ability to deal with unexpected situations. It is concluded that the technical operator remains a key figure in shaping intelligent production environments, and their training must be revised to encompass digital, cognitive, and interactive skills, ensuring active and qualified performance in emerging industrial ecosystems.

Keywords: Technical Operator. Artificial Intelligence. Automation. Human Supervision. Industry 5.0.

RESUMEN

La transformación de los procesos industriales impulsada por la inteligencia artificial y las tecnologías de automatización ha redefinido el rol del operador técnico, transformándolo de funciones meramente ejecutivas a roles estratégicos en los sistemas de producción. Este artículo busca analizar la importancia del operador técnico en la era digital, destacando su rol como mediador entre los sistemas inteligentes y los procesos de toma de decisiones en entornos industriales. La investigación se realizó mediante una revisión bibliográfica cualitativa, que reunió estudios nacionales e internacionales que analizan la evolución del rol operativo ante los desafíos de la automatización avanzada, la supervisión algorítmica y la incorporación de tecnologías emergentes como los gemelos digitales, la realidad aumentada y las interfaces adaptativas. Los resultados demuestran que la presencia del operador sigue siendo esencial para garantizar la seguridad, la fiabilidad y la flexibilidad de los sistemas automatizados, especialmente en situaciones que requieren juicio contextual, interpretación ética y adaptabilidad. Además, se observó que el éxito de la Industria 5.0 depende directamente de la integración armoniosa entre humanos y máquinas, valorando atributos humanos que no pueden ser replicados por algoritmos, como la intuición, el pensamiento crítico y la capacidad de afrontar imprevistos. Se concluye que el operador técnico sigue siendo un elemento clave en la creación de entornos de producción inteligentes, y su formación debe revisarse para incluir habilidades digitales, cognitivas e interactivas, garantizando así un desempeño activo y cualificado en los nuevos ecosistemas industriales.

Palabras clave: Operador Técnico. Inteligencia Artificial. Automatización. Supervisión Humana. Industria 5.0.

1 INTRODUÇÃO

A emergência de tecnologias baseadas em inteligência artificial e automação vem transformando de forma significativa os processos produtivos, administrativos e logísticos, gerando impactos não apenas na estrutura das organizações, mas principalmente nas funções desempenhadas por operadores técnicos, que antes atuavam de forma predominantemente manual e operacional, e agora são convocados a desempenhar papéis estratégicos e integrativos em sistemas cada vez mais digitalizados e autônomos (Romero et al., 2016).

Esse movimento de transição tecnológica é impulsionado pela chamada Indústria 4.0 e, mais recentemente, pela concepção da Indústria 5.0, que revaloriza o ser humano no centro dos processos produtivos e reconhece a importância da simbiose entre homem e máquina, sendo nesse contexto que o conceito de “Operator 4.0” ganha relevância ao designar o profissional capaz de interagir com sistemas ciberfísicos, plataformas de inteligência artificial e dispositivos conectados em tempo real, exigindo do operador não apenas habilidades técnicas, mas também competências cognitivas, adaptativas e digitais (Bhattacharya et al., 2023).

A delimitação deste trabalho está centrada no papel do operador técnico dentro dos ambientes automatizados e inteligentes, com foco na sua atuação como supervisor, tomador de decisão e responsável pelo monitoramento crítico de sistemas que funcionam sob graus variados de autonomia, tendo como pano de fundo os desafios éticos, ergonômicos e operacionais associados à convivência entre agentes humanos e algoritmos, sobretudo em ambientes industriais de alta complexidade (Endsley, 2017).

A justificativa para esta investigação reside na urgência de compreender como o operador técnico pode ser reposicionado na cadeia produtiva digital sem ser excluído ou substituído, mas sim incorporado como elemento essencial para a confiabilidade e robustez de sistemas automatizados, uma vez que diversas pesquisas apontam que a automação plena, sem a presença humana, tende a gerar riscos operacionais, reduzir a capacidade de resposta em cenários críticos e limitar a adaptabilidade frente a eventos não programados (Parasuraman, Sheridan e Wickens, 2000).

Diante disso, o problema de pesquisa que orienta este estudo pode ser formulado da seguinte forma: qual é a importância do operador técnico na era da inteligência artificial e da automação, e de que modo sua atuação contribui para a eficiência, segurança e inteligência operacional em ambientes digitais, sendo essa uma questão central para os debates contemporâneos sobre o futuro do trabalho técnico e sobre a governança dos sistemas inteligentes em ambientes produtivos (Langer, Baum e Schlicker, 2024).

O objetivo geral deste artigo é analisar o papel do operador técnico frente aos avanços da inteligência artificial e da automação, buscando compreender como suas competências vêm sendo redefinidas à luz das novas tecnologias e de que maneira ele se mantém essencial para o funcionamento

seguro, ético e eficiente de sistemas digitais, destacando ainda os requisitos técnicos e cognitivos necessários para que esse profissional atue de forma integrada aos sistemas inteligentes (Holzinger, Zatloukal e Müller, 2025).

Como objetivos específicos, busca-se: a) apresentar a evolução do papel do operador técnico desde os primeiros modelos de automação até os atuais sistemas de inteligência artificial, b) examinar os principais modelos de supervisão humana aplicáveis aos sistemas inteligentes, c) discutir as tecnologias emergentes que impactam diretamente a atuação desses profissionais e d) refletir sobre os desafios éticos, operacionais e formativos que envolvem a permanência do ser humano nos ciclos de decisão digital (Adattil, Thorvald e Romero, 2024).

Considerando que grande parte das iniciativas de automação industrial busca reduzir o erro humano, a presença do operador em funções de controle e validação deve ser analisada com cautela, pois ao mesmo tempo em que o humano é fonte de falhas, ele também é o único agente capaz de interpretar contextos complexos, identificar padrões não previstos e tomar decisões situadas, o que confere à supervisão humana um valor estratégico que não pode ser ignorado pelas organizações que desejam operar com eficiência em ambientes de alta automação (Kim et al., 2024).

O modelo “human-in-the-loop”, frequentemente citado na literatura, exemplifica a necessidade de manter o operador inserido nas fases críticas dos processos automatizados, especialmente em setores como saúde, defesa, transporte e manufatura, nos quais a variabilidade dos contextos exige um julgamento que ultrapassa a capacidade lógica dos algoritmos, posicionando o operador técnico como uma espécie de elo entre o funcionamento da tecnologia e a adaptação às condições reais do ambiente (Tsamados, Floridi e Taddeo, 2024).

Essa integração só é possível mediante investimentos em qualificação técnica, em desenho ergonômico das interfaces de controle e em políticas organizacionais que reconheçam a importância da inteligência humana no ciclo decisório digital, pois a simples substituição de operadores por sistemas inteligentes pode comprometer não apenas a segurança operacional, mas também a inovação baseada na experiência empírica dos trabalhadores, como têm mostrado diversos estudos aplicados em ambientes industriais inteligentes (Rojas et al., 2024).

Além disso, a figura do operador técnico está cada vez mais associada à atuação em ambientes híbridos, nos quais tecnologias como gêmeos digitais, realidade aumentada e sensores de monitoramento contínuo são utilizados para ampliar a capacidade de percepção e decisão do trabalhador, criando uma espécie de extensão digital de suas funções, o que exige domínio técnico, adaptabilidade e visão sistêmica sobre os processos nos quais ele está inserido (Bucci, Fani e Bandinelli, 2024).

A governança desses sistemas híbridos também envolve preocupações regulatórias, éticas e sociais, sobretudo no que se refere à responsabilidade por falhas e à transparência das decisões

automatizadas, sendo o operador técnico frequentemente o agente encarregado de revisar, validar ou suspender as decisões tomadas por sistemas baseados em inteligência artificial, assumindo, portanto, uma função de guardião da segurança e da confiabilidade operacional em diversas aplicações críticas (Laux, 2024).

A literatura aponta ainda que, para além da supervisão direta, os operadores técnicos podem atuar como fontes primárias de dados e insights para o aprimoramento dos próprios sistemas inteligentes, uma vez que suas interações, escolhas e correções alimentam algoritmos de aprendizado de máquina e influenciam diretamente os processos de adaptação e evolução tecnológica dos sistemas ciberfísicos (Adattil, Thorvald e Romero, 2024).

Com isso, a atuação do operador deixa de ser vista como um resíduo analógico dentro de um sistema digital e passa a ser valorizada como componente essencial do funcionamento inteligente e adaptativo das organizações contemporâneas, exigindo novos desenhos de formação profissional e a reestruturação das formas de trabalho nos ambientes automatizados, com ênfase na colaboração homem-máquina e no uso ético e transparente da inteligência artificial (Romero et al., 2016).

Assim, este artigo pretende contribuir para o debate sobre o futuro do trabalho técnico e sobre o lugar do operador no ecossistema da automação inteligente, defendendo a ideia de que o protagonismo humano, longe de ser obsoleto, é condição necessária para que as promessas da inteligência artificial sejam efetivamente realizadas de forma segura, ética e socialmente responsável nos ambientes produtivos do presente e do futuro (Bhattacharya et al., 2023).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A EVOLUÇÃO DO PAPEL DO OPERADOR TÉCNICO NA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

O papel do operador técnico passou por mudanças significativas desde os primeiros modelos de produção industrial até os atuais sistemas automatizados e inteligentes, sendo inicialmente associado à execução repetitiva de tarefas físicas em linhas de montagem, sem participação ativa nos processos de decisão, o que refletia um modelo de trabalho centrado na força mecânica humana, fortemente hierarquizado e com pouca margem para atuação estratégica ou interpretativa dentro do ambiente produtivo (Romero et al., 2016).

Com o surgimento da automação eletromecânica e, posteriormente, dos sistemas de controle computadorizados, o operador passou a lidar com dispositivos mais sofisticados, como painéis de comando e sensores, o que exigiu uma requalificação técnica e o desenvolvimento de novas competências relacionadas à leitura de dados, interpretação de alertas e tomada de decisões rápidas diante de falhas ou anomalias operacionais, marcando o início de uma transformação em que o operador deixava de ser apenas executor e passava a ser mediador entre máquina e processo (Parasuraman, Sheridan e Wickens, 2000).

A chegada dos sistemas supervisórios e das redes industriais nas décadas seguintes impulsionou a descentralização do controle e ampliou o escopo de responsabilidade do operador, que passou a monitorar processos distribuídos em diferentes unidades e a responder por dados em tempo real, operando por meio de interfaces digitais e sistemas de gestão, o que exigiu não apenas habilidades técnicas específicas, mas também capacidade de raciocínio lógico, tomada de decisão sob pressão e comunicação eficiente com outras áreas operacionais (Endsley, 2017).

Com a consolidação da Indústria 4.0, marcada pela convergência entre automação, internet das coisas, big data e inteligência artificial, o operador passou a interagir com sistemas ciberfísicos que demandam uma atuação mais cognitiva e analítica, assumindo funções que antes estavam restritas a engenheiros ou gestores, como o diagnóstico de falhas complexas, a sugestão de ajustes em tempo real e o alinhamento entre os parâmetros de produção e as metas estratégicas da organização (Bhattacharya et al., 2023).

Esse novo perfil profissional, frequentemente descrito como “Operator 4.0”, representa um operador que não apenas executa e monitora, mas que também interpreta, aprende e contribui ativamente para a melhoria contínua dos sistemas produtivos, em um ambiente de trabalho caracterizado por alta conectividade, variabilidade de dados e necessidade constante de adaptação, exigindo uma formação multidisciplinar que combine fundamentos técnicos com domínio de ferramentas digitais e compreensão sistêmica do processo produtivo (Romero et al., 2016).

A literatura aponta que essa evolução foi acompanhada por um deslocamento de foco: se antes o operador era treinado para seguir protocolos rígidos e rotinas padronizadas, hoje ele precisa lidar com variabilidade, interpretar padrões complexos e atuar como elo entre o que é automatizado e o que permanece sob controle humano, sendo esse deslocamento resultado direto da complexidade dos sistemas contemporâneos e da limitação da inteligência artificial em lidar com imprevistos contextuais (Adattil, Thorvald e Romero, 2024).

Nos ambientes produtivos atuais, a atuação do operador não se restringe mais ao controle local de máquinas, mas envolve a supervisão remota de linhas completas, a análise de dados operacionais integrados a dashboards interativos e a resposta a eventos não programados com base em inferências e julgamentos contextuais, tornando-se cada vez mais necessário que o operador compreenda não apenas os equipamentos com os quais lida, mas também a lógica algorítmica que guia seus comportamentos (Rojas et al., 2024).

Nesse sentido, o conhecimento tácito do operador, construído ao longo da prática e da vivência no ambiente fabril, ganha um novo estatuto dentro das organizações, sendo valorizado como fonte de dados qualitativos para o aprimoramento de algoritmos e como parâmetro de validação para modelos de aprendizado de máquina, já que a inteligência artificial ainda depende fortemente da curadoria e do

julgamento humano para se desenvolver de forma robusta e confiável (Tsamados, Floridi e Taddeo, 2024).

Essa valorização da experiência prática leva à redefinição das fronteiras entre os saberes técnicos e os digitais, evidenciando que o operador técnico do presente precisa não apenas conhecer as máquinas que opera, mas também entender como seus dados são tratados, como os sistemas aprendem e como sua própria atuação influencia os ciclos de decisão automatizada, o que exige da formação técnica um reposicionamento em direção ao letramento digital e à fluência algorítmica (Bucci, Fani e Bandinelli, 2024).

A transformação do perfil profissional do operador também é observada na reorganização dos espaços de trabalho, que passam a ser mais interativos, digitais e conectados, incorporando tecnologias como realidade aumentada, comandos por voz, sensores hápticos e interfaces adaptativas, que oferecem suporte à decisão e ampliam a percepção situacional do operador, tornando a sua presença ainda mais estratégica no contexto da automação avançada (Rojas et al., 2024).

Ainda que parte do discurso tecnológico insista na substituição do operador por sistemas autônomos, diversos estudos demonstram que a presença humana continua essencial para garantir a confiabilidade e a resiliência dos sistemas, sendo o operador técnico responsável por realizar validações cruzadas, identificar inconsistências e aplicar correções que muitas vezes escapam aos mecanismos automatizados de controle, sobretudo em contextos de exceção ou falhas inesperadas (Kim et al., 2024).

O histórico de falhas operacionais em sistemas altamente automatizados demonstra que a ausência de operadores preparados para intervir no momento certo pode gerar perdas financeiras, acidentes e comprometimento da integridade dos dados, evidenciando que a inteligência artificial, apesar de suas potencialidades, ainda depende do olhar humano para funcionar de maneira ética, segura e eficiente nos ambientes industriais (Langer, Baum e Schlicker, 2024).

Com isso, a trajetória evolutiva do operador técnico pode ser compreendida como um deslocamento contínuo de um perfil manual e repetitivo para uma atuação mais analítica, interpretativa e estratégica, exigindo das instituições formadoras um reposicionamento dos currículos técnicos e das políticas de capacitação, para que o trabalhador esteja apto a atuar com criticidade e domínio em um ambiente cada vez mais orientado por dados e automatismos (Adattil, Thorvald e Romero, 2024).

A inserção do operador nesse novo paradigma demanda também que as empresas adotem políticas de gestão que reconheçam a importância da atuação humana não apenas na execução, mas na supervisão e aprimoramento dos sistemas digitais, criando canais de participação ativa, estímulo à inovação do chão de fábrica e valorização do conhecimento tácito como ativo estratégico das organizações que operam com inteligência artificial (Bhattacharya et al., 2023).

Portanto, a evolução do papel do operador técnico na automação industrial não representa uma transição rumo à obsolescência do trabalho humano, mas sim a emergência de um novo modelo de profissional que atua em colaboração com os sistemas inteligentes, sendo parte ativa e indispensável da engrenagem tecnológica que sustenta a eficiência, a adaptabilidade e a confiabilidade das operações industriais no século XXI (Romero et al., 2016).

2.2 O CONCEITO DE SUPERVISÃO HUMANA EM SISTEMAS INTELIGENTES

A supervisão humana em sistemas inteligentes é um conceito central no debate sobre a integração entre agentes humanos e tecnologias baseadas em inteligência artificial, sendo compreendida como a capacidade do operador de monitorar, interpretar e intervir em processos mediados por algoritmos, garantindo que as decisões tomadas automaticamente estejam em conformidade com os objetivos operacionais, com os padrões de segurança e com os critérios éticos estabelecidos pelas organizações (Langer, Baum e Schlicker, 2024).

Essa forma de supervisão difere substancialmente do controle direto exercido em sistemas tradicionais, pois não se baseia apenas na operação contínua de equipamentos, mas sim na manutenção da vigilância crítica sobre sistemas que, por vezes, operam de maneira autônoma, exigindo do operador um grau elevado de atenção, julgamento contextual e capacidade de identificar desvios sutis que possam indicar erros de processamento, falhas de lógica ou distorções nos dados de entrada (Endsley, 2017).

Nos sistemas automatizados de última geração, especialmente aqueles que utilizam algoritmos de aprendizado de máquina, as decisões não seguem uma lógica determinística previsível, o que dificulta a antecipação de comportamentos e reforça a necessidade de supervisão humana qualificada, pois o operador passa a ser o agente responsável por aplicar filtros éticos, validar resultados e interromper fluxos automáticos quando detecta que a máquina está operando fora dos limites aceitáveis de desempenho ou de conformidade (Tsamados, Floridi e Taddeo, 2024).

A literatura destaca que a supervisão humana pode ser exercida em diferentes níveis de envolvimento, desde a simples observação até a atuação contínua em processos decisórios, conforme proposto no modelo de Parasuraman, Sheridan e Wickens, que classifica a interação humano-automação em graus crescentes de autonomia, permitindo mapear com mais precisão qual é o papel do operador diante de cada tipo de sistema e quais são os riscos associados à redução excessiva da intervenção humana (Parasuraman, Sheridan e Wickens, 2000).

Com o aumento da complexidade dos sistemas inteligentes, cresce também a assimetria entre o conhecimento técnico do operador e a lógica interna do algoritmo, criando uma lacuna que pode comprometer a eficácia da supervisão caso não haja investimento em capacitação contínua, letramento digital e compreensão das arquiteturas algorítmicas, pois quanto menos o operador entende o

funcionamento do sistema, menor sua capacidade de identificar falhas sutis ou desvios não explícitos no comportamento da tecnologia (Bhattacharya et al., 2023).

A supervisão humana se apresenta como um fator de mitigação de riscos em sistemas de decisão automatizada, principalmente em setores sensíveis como a saúde, a segurança pública, a indústria pesada e o transporte, nos quais erros operacionais podem ter consequências catastróficas, sendo o operador o responsável final por confirmar ou rejeitar a decisão da máquina, atuando como barreira de proteção contra a cegueira algorítmica e os vieses incorporados aos sistemas digitais (Holzinger, Zatloukal e Müller, 2025).

Apesar da valorização teórica da supervisão humana, muitos sistemas inteligentes ainda são projetados com foco exclusivo na autonomia da máquina, negligenciando a interface com o operador e dificultando sua atuação crítica, o que pode levar a uma perda de autoridade do humano sobre a tecnologia e a uma dependência excessiva dos algoritmos, criando um cenário em que o operador assume um papel passivo, limitado à observação, sem ferramentas adequadas para intervir de forma eficaz (Laux, 2024).

Estudos apontam que a eficácia da supervisão humana está diretamente relacionada à qualidade das interfaces homem-máquina, que devem ser projetadas para facilitar a percepção situacional, o diagnóstico de anomalias e a tomada de decisão, sendo indispensável que o sistema forneça explicações compreensíveis sobre suas ações, possibilitando que o operador entenda por que determinada decisão foi tomada e quais foram os dados considerados pelo algoritmo (Langer, Baum e Schlicker, 2024).

Esse processo de explicação, conhecido como *explainable AI*, tem se tornado um dos pilares das discussões sobre transparência e confiabilidade dos sistemas automatizados, pois a opacidade dos algoritmos pode comprometer a supervisão humana ao impedir a rastreabilidade das decisões e limitar a capacidade do operador de questionar ou contestar resultados que, à primeira vista, possam parecer corretos, mas escondem erros estruturais em seus parâmetros (Tsamados, Floridi e Taddeo, 2024).

A supervisão eficiente exige também uma distribuição equilibrada de autoridade entre homem e máquina, evitando tanto a subordinação cega ao algoritmo quanto o excesso de controle humano que impeça o aproveitamento da capacidade de processamento automatizado, sendo necessário encontrar um ponto de equilíbrio em que a atuação do operador seja estratégica, pontual e orientada por parâmetros técnicos e éticos bem definidos (Parasuraman, Sheridan e Wickens, 2000).

O conceito de *human-in-the-loop* é central para essa discussão, pois propõe a manutenção do ser humano em todos os ciclos críticos de decisão, não como redundância ou reserva de emergência, mas como parte ativa do processo, responsável por validar resultados, ajustar parâmetros e aplicar conhecimentos contextuais que escapam à lógica computacional, especialmente em situações de ambiguidade, emergência ou múltiplos objetivos em conflito (Adattil, Thorvald e Romero, 2024).

Na prática, isso significa que o operador técnico precisa ter acesso aos dados em tempo real, compreender os indicadores operacionais e interagir com sistemas de apoio à decisão que ampliem sua capacidade analítica, garantindo que a supervisão não seja apenas simbólica, mas efetiva, com real capacidade de intervenção sobre o sistema automatizado, o que demanda formação adequada, cultura organizacional favorável e interfaces tecnológicas intuitivas (Rojas et al., 2024).

A supervisão humana também envolve aspectos emocionais, éticos e psicológicos, pois o operador muitas vezes lida com a tensão de tomar decisões críticas sob pressão, revisar julgamentos automatizados que contrariam sua intuição ou lidar com consequências de erros sistêmicos que, embora gerados pela máquina, recaem sobre sua responsabilidade, sendo necessário que os sistemas sejam desenvolvidos com atenção à ergonomia cognitiva e à saúde mental do trabalhador (Endsley, 2017).

Além da supervisão em tempo real, o operador técnico pode atuar também na auditoria posterior das decisões automatizadas, revisando registros, identificando padrões de falhas e propondo melhorias nos algoritmos ou nos fluxos de operação, reforçando sua importância como elo contínuo entre a operação prática e a evolução técnica dos sistemas, com participação ativa no aprimoramento dos modelos inteligentes e no alinhamento entre desempenho algorítmico e objetivos organizacionais (Kim et al., 2024).

Em síntese, a supervisão humana em sistemas inteligentes não deve ser tratada como uma medida de transição rumo à completa autonomia das máquinas, mas sim como um princípio estruturante da relação entre tecnologia e trabalho, sendo o operador técnico o agente responsável por garantir que a inteligência artificial opere com segurança, eficácia e alinhamento ético, preservando a autonomia humana sobre os sistemas e assegurando que o uso da tecnologia esteja sempre a serviço das finalidades humanas e sociais (Laux, 2024).

2.3 TECNOLOGIAS EMERGENTES E O FUTURO DO OPERADOR NA INDÚSTRIA 5.0

A transição da Indústria 4.0 para a chamada Indústria 5.0 marca uma inflexão importante na forma como se concebe a interação entre seres humanos e sistemas automatizados, priorizando modelos de produção colaborativa nos quais o operador técnico ocupa posição central, interagindo com máquinas inteligentes por meio de interfaces adaptativas que buscam ampliar sua autonomia, percepção situacional e capacidade analítica, resgatando a importância do fator humano na governança tecnológica (Romero et al., 2016).

Entre as tecnologias que vêm impulsionando esse novo paradigma, destacam-se os gêmeos digitais, que permitem a criação de réplicas virtuais dos sistemas físicos operados em tempo real, possibilitando ao técnico visualizar simulações, antecipar falhas, realizar ajustes remotos e

compreender o comportamento dos equipamentos com mais precisão, fortalecendo seu papel como articulador entre os ambientes físico e virtual (Bucci, Fani e Bandinelli, 2024).

Essas representações digitais não servem apenas como ferramentas de monitoramento, mas como instrumentos de predição e suporte à decisão, integrando dados históricos, variáveis operacionais e modelos de aprendizado para fornecer diagnósticos mais refinados, exigindo do operador habilidades analíticas e domínio de plataformas digitais, o que reforça a necessidade de requalificação permanente e atualização curricular nas áreas técnicas (Adattil, Thorvald e Romero, 2024).

Outro recurso incorporado aos sistemas produtivos avançados é a realidade aumentada, utilizada para sobrepor informações digitais ao ambiente físico por meio de óculos, tablets ou sensores visuais, permitindo que o operador visualize instruções de manutenção, alertas contextuais e dados operacionais diretamente em seu campo de visão, otimizando a tomada de decisão e reduzindo a necessidade de deslocamentos ou consultas a manuais impressos (Rojas et al., 2024).

Essa tecnologia tem se mostrado eficaz na transferência de conhecimento em tempo real, facilitando treinamentos em serviço, acompanhamento remoto por especialistas e atualização de procedimentos operacionais, criando um ecossistema de aprendizado contínuo no qual o operador atua como sujeito ativo, em constante diálogo com a máquina e com as plataformas digitais que estruturam o processo produtivo (Bhattacharya et al., 2023).

Os comandos por voz e interfaces conversacionais também estão sendo integrados aos sistemas industriais como formas de ampliar a acessibilidade e a agilidade na comunicação entre operador e máquina, permitindo que tarefas sejam executadas por meio de linguagem natural, reduzindo o tempo de resposta e aumentando o conforto ergonômico, especialmente em ambientes que demandam o uso constante das mãos ou que apresentam restrições físicas para a operação de painéis tradicionais (Rojas et al., 2024).

A presença de sensores hápticos e táteis nos sistemas produtivos contribui para a construção de uma experiência de controle mais sensível e precisa, permitindo que o operador receba estímulos físicos como vibrações, alertas táteis ou variações de resistência que informam mudanças no comportamento da máquina, criando uma dimensão sensorial adicional à supervisão e aumentando a capacidade de resposta diante de anomalias sutis ou variações inesperadas (Endsley, 2017).

Paralelamente, a expansão da inteligência artificial em sistemas industriais tem exigido do operador técnico uma compreensão mais profunda sobre os princípios de funcionamento dos algoritmos, suas limitações, seus mecanismos de aprendizado e seus critérios de decisão, pois sua atuação passa a incluir a validação de resultados produzidos por modelos que nem sempre oferecem transparência ou rastreabilidade sobre o processo que levou a determinada recomendação (Tsamados, Floridi e Taddeo, 2024).

Essa nova configuração exige um letramento algorítmico por parte do operador, o que envolve não apenas a leitura de dados brutos, mas também a capacidade de interpretar resultados probabilísticos, identificar tendências, suspeitar de padrões anômalos e aplicar critérios éticos nas decisões que envolvam riscos operacionais, econômicos ou humanos, colocando em evidência a complexidade do trabalho técnico na era digital (Holzinger, Zatloukal e Müller, 2025).

Além da dimensão técnica, o futuro do operador está intimamente ligado às questões sociais, organizacionais e regulatórias que envolvem a Indústria 5.0, pois sua presença não se justifica apenas por competências operacionais, mas também pela necessidade de preservar a responsabilidade humana nos ciclos de decisão, evitar a alienação tecnológica e garantir que o uso das ferramentas digitais esteja alinhado aos princípios da transparência, da justiça e da sustentabilidade (Laux, 2024).

Diferentemente dos discursos que promovem a automação como substituição, a proposta da Indústria 5.0 é baseada na complementaridade entre capacidades humanas e digitais, na qual a empatia, a criatividade e o julgamento contextual do operador são vistos como valores que fortalecem os sistemas produtivos, permitindo soluções mais robustas, seguras e flexíveis frente à volatilidade dos mercados e à complexidade dos ambientes operacionais (Bhattacharya et al., 2023).

A incorporação de inteligência emocional e design centrado no ser humano nas interfaces operacionais amplia as possibilidades de bem-estar, engajamento e pertencimento no ambiente de trabalho, reduzindo os níveis de fadiga mental, aumentando a percepção de controle e facilitando a adoção de tecnologias emergentes, pois o operador se sente valorizado como parte essencial do sistema, e não como peça substituível ou descartável (Kim et al., 2024).

Para isso, é fundamental que os sistemas sejam projetados com base nos princípios da ergonomia cognitiva, que considera as limitações perceptivas, atencionais e decisórias do ser humano no desenho das interações, favorecendo uma supervisão mais eficaz, reduzindo a sobrecarga mental e promovendo uma comunicação clara e responsiva entre o operador e as plataformas tecnológicas (Endsley, 2017).

O desenvolvimento dessas tecnologias também abre caminho para a personalização das experiências operacionais, por meio de sistemas que aprendem com os padrões individuais de uso e ajustam automaticamente os parâmetros visuais, auditivos ou funcionais das interfaces, promovendo um ambiente adaptativo que reconhece as preferências, capacidades e características do trabalhador, reforçando a ideia de que a tecnologia deve se moldar ao ser humano, e não o contrário (Langer, Baum e Schlicker, 2024).

A projeção do futuro do operador técnico, portanto, não se limita ao domínio de novas ferramentas, mas envolve uma mudança cultural na forma como se concebe o trabalho, exigindo protagonismo, senso crítico e capacidade de colaborar com as máquinas em um modelo de parceria

inteligente que valorize o conhecimento empírico, a responsabilidade ética e a sensibilidade humana como ativos indispensáveis no ecossistema digital da Indústria 5.0 (Tsamados, Floridi e Taddeo, 2024).

3 METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido por meio de uma abordagem qualitativa, adotando o método da revisão bibliográfica como estratégia principal para investigação do tema, com o objetivo de reunir, interpretar e discutir contribuições teóricas e empíricas disponíveis na literatura científica sobre a atuação do operador técnico em contextos de automação e inteligência artificial, considerando a diversidade de enfoques e abordagens que tratam da evolução profissional, das mudanças tecnológicas e dos desafios operacionais decorrentes da integração homem-máquina.

A escolha pela revisão bibliográfica se justifica pela complexidade do objeto analisado, que envolve múltiplas áreas do conhecimento, como engenharia de produção, ergonomia, ciência da computação, psicologia do trabalho, filosofia da tecnologia e administração, exigindo uma perspectiva ampla e integrada para compreender as transformações que vêm moldando a atuação do operador técnico nos ambientes automatizados contemporâneos, bem como os impactos decorrentes da aplicação de tecnologias emergentes no seu cotidiano de trabalho.

De acordo com Gil (2019), a revisão bibliográfica constitui um procedimento metodológico indispensável nos estudos que visam conhecer e sistematizar os avanços de um determinado campo do saber, permitindo ao pesquisador identificar contradições, lacunas, convergências e tendências que fundamentam a construção de um referencial teórico sólido e alinhado com o estado da arte do tema estudado, além de oferecer subsídios para a formulação de categorias analíticas pertinentes à análise dos dados teóricos reunidos.

Lakatos e Marconi (2018) destacam que a revisão bibliográfica não deve se limitar ao levantamento de conceitos ou resumos de publicações, mas deve promover uma análise crítica das contribuições selecionadas, articulando autores, posicionamentos e evidências em torno de eixos temáticos que sustentem a argumentação científica e permitam compreender o fenômeno investigado com profundidade, o que exige critérios rigorosos de seleção, leitura atenta e organização sistemática das fontes utilizadas.

As fontes utilizadas foram buscadas em bases de dados acadêmicas nacionais e internacionais amplamente reconhecidas, como Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink e Google Scholar, garantindo a diversidade de enfoques e a atualização dos conteúdos analisados, priorizando materiais que apresentam fundamentação teórica sólida, metodologias coerentes e contribuições relevantes para a compreensão da presença humana nos ambientes de automação avançada.

A sistematização dos dados teóricos foi realizada por meio da categorização temática, que consiste na organização dos conteúdos com base em eixos centrais de análise, facilitando a comparação entre os autores e permitindo estabelecer conexões entre conceitos, práticas e implicações discutidas nas publicações, sendo as categorias principais definidas como: evolução do operador técnico na automação industrial, supervisão humana em sistemas inteligentes e tecnologias emergentes no contexto da Indústria 5.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos estudos revela que a evolução do papel do operador técnico acompanha diretamente as transformações promovidas pelas inovações tecnológicas em ambiente industrial, deslocando o foco da execução repetitiva para uma atuação estratégica, na qual a supervisão, a interpretação de dados e o julgamento contextual tornam-se atributos indispensáveis, demonstrando que o conhecimento tácito e a adaptabilidade humana permanecem como pilares na sustentação de sistemas automatizados cada vez mais complexos (Romero et al., 2016).

As evidências apontam que a integração de ferramentas digitais como painéis interativos, sensores inteligentes e redes ciberfísicas exige do operador competências relacionadas à leitura crítica de indicadores e à capacidade de intervir com precisão diante de falhas ou incongruências, sendo sua presença decisiva para manter a operação estável e segura em cenários onde os algoritmos não são capazes de considerar variáveis ambientais, sociais ou emocionais que interferem no processo produtivo (Bhattacharya et al., 2023).

Os autores convergem ao destacar que o conceito de “Operator 4.0” surge como uma resposta à necessidade de reconfigurar a presença humana na indústria conectada, atribuindo ao profissional um perfil multidisciplinar e colaborativo, capaz de interagir com inteligência artificial, robôs e sistemas de monitoramento de forma crítica e criativa, enfatizando que a inteligência situacional do operador é insubstituível diante de situações não previstas nos modelos computacionais (Adattil, Thorvald e Romero, 2024).

Na perspectiva da supervisão humana, observa-se que os modelos tradicionais de interação homem-máquina, como os propostos por Parasuraman, Sheridan e Wickens, ainda se mantêm úteis como referência teórica para compreender os níveis de envolvimento do operador em sistemas de decisão automatizada, embora os novos sistemas baseados em aprendizado de máquina tenham ampliado os desafios relacionados à transparência, explicabilidade e rastreabilidade das decisões algorítmicas (Parasuraman, Sheridan e Wickens, 2000).

Os estudos também evidenciam que a eficácia da supervisão humana está fortemente condicionada ao desenho das interfaces tecnológicas, sendo fundamental que os sistemas forneçam informações claras, contextualizadas e compreensíveis para que o operador possa avaliar, confirmar

ou questionar as decisões automatizadas, reforçando a ideia de que o design centrado no ser humano é indispensável para garantir a segurança e a eficiência em ambientes de alta automação (Endsley, 2017).

Diversos autores alertam que a ausência de supervisão qualificada em sistemas inteligentes pode gerar consequências graves, uma vez que os algoritmos operam com base em padrões históricos e não são capazes de captar nuances morais, éticas ou emocionais, tornando o operador o último agente capaz de interromper um processo, reinterpretar uma decisão e agir de forma proporcional aos riscos identificados, preservando a integridade dos sistemas e das pessoas envolvidas (Langer, Baum e Schlicker, 2024).

No tocante às tecnologias emergentes, destaca-se que os gêmeos digitais têm ampliado a capacidade preditiva e diagnóstica dos operadores, oferecendo simulações em tempo real que auxiliam na antecipação de falhas, na compreensão do desempenho dos equipamentos e na identificação de padrões anômalos, o que transforma o papel do operador em uma figura estratégica na análise contínua de eficiência e na retroalimentação dos algoritmos de aprendizado (Bucci, Fani e Bandinelli, 2024).

A realidade aumentada, por sua vez, tem se mostrado eficaz na sobreposição de dados operacionais ao campo de visão do operador, permitindo que ele visualize informações relevantes durante a execução de tarefas, otimize procedimentos de manutenção e amplie a autonomia em ambientes complexos, criando uma experiência de trabalho mais fluida e reduzindo o tempo necessário para consultas ou deslocamentos, o que potencializa a atuação com base em dados situacionais (Rojas et al., 2024).

Os comandos por voz e as interfaces conversacionais também contribuem para uma relação mais dinâmica entre operador e sistema, especialmente em contextos onde a operação manual é limitada, favorecendo a fluidez das atividades, o acesso rápido a informações críticas e a redução de erros decorrentes da fadiga visual ou da sobrecarga cognitiva, ao mesmo tempo em que exigem um novo tipo de letramento tecnológico por parte do trabalhador (Kim et al., 2024).

As pesquisas apontam que, para além das ferramentas, o fator determinante para a efetividade do trabalho do operador na era digital está na formação contínua e na estrutura organizacional que valorize sua contribuição, criando ambientes de aprendizagem, canais de participação ativa e políticas que reconheçam a importância da intuição, da experiência e do senso crítico como componentes estratégicos da operação inteligente e da melhoria de processos (Bhattacharya et al., 2023).

Em relação à ética e à governança tecnológica, destaca-se o papel do operador como agente de validação das decisões automatizadas, especialmente nos casos em que os sistemas produzem recomendações baseadas em dados enviesados, inconsistentes ou incompletos, sendo sua intervenção fundamental para preservar os princípios de equidade, responsabilidade e segurança que devem nortear o uso da inteligência artificial em qualquer setor produtivo (Holzinger, Zatloukal e Müller, 2025).

A literatura analisa também os riscos associados à descaracterização do papel do operador frente à promessa de plena autonomia algorítmica, mostrando que a exclusão do fator humano nos ciclos críticos de decisão pode comprometer a robustez do sistema e criar uma dependência cega dos resultados computacionais, fato que reforça a necessidade de manter o ser humano como instância de supervisão e correção mesmo nos cenários mais automatizados (Laux, 2024).

O conceito de human-in-the-loop é tratado como um princípio estrutural da Indústria 5.0, pois pressupõe que a presença do operador técnico seja incorporada de forma orgânica ao sistema, garantindo que ele possa interagir, avaliar e influenciar as decisões das máquinas com base em critérios operacionais, contextuais e humanos, assegurando um equilíbrio entre o potencial da automação e os limites da delegação irrestrita ao algoritmo (Tsamados, Floridi e Taddeo, 2024).

A discussão apresentada ao longo dos estudos demonstra que a figura do operador técnico não deve ser vista como um resquício da era analógica, mas como parte essencial da arquitetura dos sistemas inteligentes, sendo necessário que as empresas, instituições de ensino e formuladores de políticas públicas compreendam esse novo perfil profissional como uma convergência entre conhecimento técnico, raciocínio estratégico e compreensão sistêmica das interações homem-máquina (Adattil, Thorvald e Romero, 2024).

Dessa forma, os resultados da análise teórica reafirmam que o futuro da automação industrial depende não apenas da eficiência dos algoritmos e da sofisticação das máquinas, mas da presença ativa, capacitada e crítica do operador técnico, cuja atuação assegura que a inteligência artificial funcione de maneira segura, ética e adaptável, tornando-se o ponto de equilíbrio entre o potencial tecnológico e a responsabilidade humana nos sistemas produtivos avançados (Romero et al., 2016).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida ao longo deste estudo permitiu compreender que o operador técnico continua sendo um elemento vital nos processos produtivos, mesmo diante da crescente incorporação de tecnologias baseadas em inteligência artificial e automação. A narrativa da substituição do ser humano pelas máquinas não se sustenta diante da complexidade dos ambientes industriais contemporâneos, nos quais a tomada de decisão requer não apenas precisão técnica, mas também sensibilidade contextual, responsabilidade ética e capacidade adaptativa.

O avanço das tecnologias emergentes tem promovido uma reconfiguração profunda das funções exercidas pelo operador, exigindo uma combinação de habilidades técnicas, digitais e cognitivas. O domínio de ferramentas como gêmeos digitais, realidade aumentada e sistemas preditivos baseados em aprendizado de máquina amplia o escopo de atuação do profissional, que deixa de executar tarefas isoladas para se posicionar como um agente integrador entre as diversas dimensões do processo produtivo.

Nesse cenário, o operador se torna responsável por interpretar dados, supervisionar comportamentos automatizados e realizar intervenções fundamentadas em conhecimento prático e análise crítica. A supervisão humana ganha um novo estatuto, passando de mera vigilância para uma função estratégica que assegura a confiabilidade, a resiliência e a responsividade dos sistemas digitais, tornando-se indispensável para o bom funcionamento das operações.

A Indústria 5.0, ao resgatar o protagonismo humano nos ciclos de produção, propõe um modelo colaborativo em que o operador interage com as tecnologias em tempo real, ajusta parâmetros, detecta falhas não previstas e participa ativamente do aperfeiçoamento dos processos. Essa perspectiva exige que as organizações desenvolvam ambientes favoráveis ao aprendizado contínuo e adotem políticas de valorização profissional voltadas à integração entre competências humanas e recursos tecnológicos.

É fundamental reconhecer que a atuação do operador vai além da técnica; envolve intuição, experiência acumulada e julgamento moral. Esses atributos não são replicáveis por algoritmos e fazem diferença em situações limítrofes ou imprevisíveis. O equilíbrio entre automação e intervenção humana precisa ser cuidadosamente construído, evitando tanto a delegação irrestrita quanto o controle excessivo que comprometa a fluidez e a eficiência dos sistemas.

A construção de interfaces centradas no ser humano, a implementação de programas de capacitação orientados ao domínio digital e a participação ativa dos operadores nos processos de tomada de decisão são caminhos promissores para consolidar um modelo de produção mais inteligente, ético e sustentável. A tecnologia, quando bem conduzida, não substitui o ser humano, mas potencializa sua atuação e amplia suas capacidades operacionais.

A formação profissional deve acompanhar esse movimento, rompendo com modelos ultrapassados de ensino técnico e incorporando disciplinas voltadas à compreensão de algoritmos, visualização de dados, segurança digital e pensamento crítico. A nova configuração do trabalho exige operadores que saibam dialogar com as máquinas, interpretar informações complexas e participar da construção de soluções inovadoras nos ambientes onde atuam.

Ao longo da investigação, ficou evidente que o futuro do operador técnico dependerá da capacidade de adaptação às transformações tecnológicas, mas também da postura crítica diante das limitações dos sistemas automatizados. A presença humana no centro da operação não é um retrocesso, mas uma evolução que reconhece os limites da automação e valoriza aquilo que torna o ser humano indispensável: sua consciência, criatividade e capacidade de julgar com responsabilidade.

A tecnologia continuará avançando, mas o êxito de sua aplicação dependerá da qualidade da relação estabelecida com os profissionais que a operam. A presença do operador não é apenas um recurso funcional, mas uma condição estratégica para garantir a segurança, a justiça e a eficiência dos sistemas. O futuro das organizações inteligentes será humano na medida em que souber preservar, formar e integrar seus operadores com inteligência, ética e visão sistêmica.



Diante disso, conclui-se que o operador técnico representa uma figura-chave na transição para modelos industriais mais avançados, e sua valorização deve ser compreendida como prioridade nos projetos de inovação tecnológica. Reconhecer sua importância, investir em sua formação e garantir sua participação ativa são atitudes fundamentais para consolidar ambientes produtivos verdadeiramente inteligentes, onde a tecnologia é ferramenta, e não fim.



REFERÊNCIAS

- ADATTIL, R.; THORVALD, P.; ROMERO, D. Assessing the psychosocial impacts of Industry 4.0 technologies adoption in the Operator 4.0: literature review & theoretical framework. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, v. 15, n. 1, p. 59-80, 2024. Disponível em: <https://ijiemjournal.uns.ac.rs/v15/1/IJIEEM-2024-1-348.pdf>.
- BHATTACHARYA, M.; PENICA, M.; O'CONNELL, E.; SOUTHERN, M.; HAYES, M. Human-in-Loop: A review of smart manufacturing deployments. *Systems*, v. 11, n. 1, art. 35, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/1/35>.
- BUCCI, I.; FANI, V.; BANDINELLI, R. Towards human-centric manufacturing: exploring the role of human digital twins in Industry 5.0. *Sustainability*, v. 17, n. 1, art. 129, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/1/129>.
- ENDSLEY, M. R. From here to autonomy: lessons learned from human–automation research. *Human Factors*, v. 59, n. 1, p. 5-27, 2017. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0018720816681350>.
- GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- HOLZINGER, A.; ZATLOUKAL, K.; MÜLLER, H. Is human oversight to AI systems still possible? *New Biotechnology*, v. 85, p. 59-62, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871678424002109>.
- KIM, D. B.; SADEQI BAJESTANI, M.; LEE, J. Y.; SHIN, S.-J.; NOH, S. D. Introduction of human-in-the-loop in smart manufacturing (H-SM). *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Smart Technology*, v. 2, n. 2, p. 209-214, 2024. Disponível em: <https://ijpem-st.springeropen.com/articles/10.57062/ijpem-st.2024.00115>.
- LANGER, M.; BAUM, K.; SCHLICKER, N. Effective human oversight of AI-based systems: a signal detection perspective on the detection of inaccurate and unfair outputs. *Minds and Machines*, v. 35, art. 1, 2024.
- LAUX, J. Institutionalised distrust and human oversight of artificial intelligence: towards a democratic design of AI governance under the European Union AI Act. *AI & Society*, v. 39, p. 2853-2866, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00146-023-01777-z>.
- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos de metodologia científica. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.
- PARASURAMAN, R.; SHERIDAN, T. B.; WICKENS, C. D. A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans*, v. 30, n. 3, p. 286-297, 2000. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/844354>.
- ROJAS, M.; MALDONADO-ROMO, J.; MENDEZ, J. I.; PONCE, P.; MOLINA, A. Smart interfaces to assist the operator in the context of Industry 4.0 with a 5S human-centric approach. *Wearable Technologies*, v. 5, e24, 2024. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/wearable-technologies/article/abs/smart-interfaces-to-assist-the-operator-in-the-context-of-industry-40-with-a-5s-human-centric-approach/033120F9CE2D7FE68B2043EC2067FAF5>.



ROMERO, D.; BERNUS, P.; NORAN, O.; STAHRÉ, J.; FAST-BERGLUND, Å. The Operator 4.0: human cyber-physical systems & adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems. In: IFIP APMS 2016. Cham: Springer, 2016. p. 677-686. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-51133-7_80.

TSAMADOS, A.; FLORIDI, L.; TADDEO, M. Human control of AI systems: from supervision to teaming. *AI Ethics*, v. 5, n. 2, p. 1535-1548, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43681-024-00489-4>.