

LACUNAS DO AUTOMATISMO: LIMITAÇÕES DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM ANÁLISES PRELIMINARES DE RISCO EM INTERVENÇÕES EM PLANTAS INDUSTRIAIS

André Filipe Souza e Lima⁽¹⁾ (andrefelipe.souza2@hotmail.com); Carlos Enrique de M. Jerônimo⁽¹⁾
(c_enrique@hotmail.com); Sara Amélia O. Galvão⁽¹⁾ (s_gav@yahoo.com.br)

⁽¹⁾ COLAB+

RESUMO: *Este artigo analisa criticamente as limitações da inteligência artificial (IA), em especial o modelo ChatGPT-4o, na elaboração de Análises Preliminares de Risco (APR) voltadas ao planejamento de serviços em plantas industriais de alta complexidade. A pesquisa adota metodologia experimental comparativa, baseada na construção de 15 pares de APRs – uma gerada por IA e outra por equipes técnicas humanas com domínio sobre as áreas de caldeiraria, elétrica, equipamentos dinâmicos, altura e movimentação de cargas. A análise quantitativa seguiu uma lista de verificação com dez critérios objetivos, enquanto a avaliação estatística utilizou o teste t de Student pareado para aferir a significância das diferenças entre os grupos. Os resultados demonstraram que, embora a IA seja capaz de estruturar tecnicamente uma APR, ela apresenta falhas sistemáticas na leitura contextual, na identificação de condições agravantes, na avaliação de recursos e no reconhecimento do perfil da equipe executora. As APRs humanas obtiveram desempenho significativamente superior em todos os critérios, indicando que a IA ainda não está apta a substituir o julgamento técnico na gestão de riscos ocupacionais. Conclui-se que a IA pode ser útil como ferramenta de apoio, mas sua aplicação exige protocolos híbridos com validação humana obrigatória.*

PALAVRAS-CHAVE: *Análise de risco. ChatGPT. Inteligência Artificial. APR.*

1. INTRODUÇÃO

A crescente incorporação da inteligência artificial (IA) nos sistemas de gestão de risco industrial representa um avanço significativo na tentativa de sistematizar, agilizar e tornar mais robustas as análises que precedem intervenções críticas. Em especial, ferramentas baseadas em aprendizado de máquina e processamento de linguagem natural têm sido aplicadas em Análises Preliminares de Risco (APR), substituindo ou reduzindo a participação de especialistas humanos na identificação e categorização de perigos operacionais. Essa tendência é impulsionada por

expectativas de eficiência, redução de custos e padronização dos processos de planejamento.

Apesar de promissoras, essas aplicações da IA ainda enfrentam sérios desafios quando transpostas para ambientes industriais de alta complexidade e risco, como aqueles que operam com sistemas pressurizados, atmosferas explosivas e substâncias inflamáveis em condições extremas de temperatura e pressão. Nesse contexto, erros de avaliação ou omissões em APRs podem resultar em eventos catastróficos, com impactos humanos, ambientais e patrimoniais significativos. A literatura contemporânea já aponta que a transposição cega de modelos de IA para contextos críticos sem consideração do fator humano pode gerar um falso senso de segurança (KHAN; HAIDER, 2023).

Um dos principais dilemas da utilização de IA para elaboração da APR está na ausência do executante no ordenamento dos riscos. A expertise tácita dos trabalhadores, construída ao longo de anos de vivência prática, dificilmente pode ser replicada em sistemas computacionais baseados apenas em padrões históricos. A IA tende a operar a partir de descrições genéricas de tarefas, ignorando adaptações práticas que muitas vezes são decisivas para a identificação de perigos reais. Como observa Zhang et al. (2023), os algoritmos de IA ainda não possuem sensibilidade suficiente para interpretar nuances operacionais específicas que emergem no ambiente real de execução.

Outro aspecto negligenciado pelas soluções baseadas em IA são as condições ambientais reais no momento da intervenção. Variáveis como calor excessivo, vibração, umidade, ruído, iluminação deficiente ou obstáculos de acesso são muitas vezes determinantes para o agravamento de um risco. Entretanto, tais elementos contextuais são, em geral, sub-representados nos modelos automatizados. Estudos como o de Liang e Yu (2022) reforçam que a IA pode contribuir para a cegueira operacional quando aplicada sem uma abordagem sensível à variabilidade das condições de campo.

Adicionalmente, a IA demonstra limitação significativa na avaliação dos recursos efetivamente disponíveis para a execução das tarefas. O planejamento de riscos feito por humanos tende a considerar, ainda que informalmente, aspectos como capacitação da equipe, familiaridade com o processo, disponibilidade de equipamentos de proteção, ferramentas de contenção, histórico de incidentes e grau de prontidão para emergências. Esses fatores são raramente contemplados de forma confiável por sistemas automatizados. Conforme destaca Batarseh et al. (2023), a IA opera com dados que refletem um cenário médio ou idealizado, e não as particularidades locais de cada planta ou turno.

A tentativa de substituir integralmente o processo de análise humana por IA pode resultar na chamada “burocratização digital da segurança”, na qual a APR passa a ser apenas um documento

formatado automaticamente, sem conexão com o ambiente real de trabalho. Isso reforça o risco de que medidas preventivas sejam desproporcionais, ineficazes ou completamente ausentes, falhando em sua função primária de proteger vidas. A IA, neste contexto, corre o risco de reforçar práticas formais descoladas da realidade operacional (FAVARET FILHO; PELISSARI, 2019).

Ao mesmo tempo, não se pode negar que a IA tem aplicações relevantes em tarefas específicas como previsão de falhas, análise de dados históricos e identificação de padrões ocultos. O problema emerge quando a automação é usada para substituir, e não complementar, o juízo crítico dos especialistas que conhecem os detalhes do processo e da planta. Nesse ponto, autores como Amiri et al. (2022) defendem a adoção de uma inteligência artificial híbrida, voltada ao suporte à decisão e não à substituição do raciocínio humano.

É importante destacar que a segurança de processo industrial se ancora em três pilares fundamentais: engenharia de controle, cultura organizacional e percepção de risco dos operadores. Quando a IA atua ignorando esse terceiro pilar, comprometem-se as premissas de confiabilidade e eficácia dos sistemas de prevenção. Isso se agrava nas plantas onde a margem de erro é extremamente reduzida e onde a severidade das consequências de uma falha é elevada. Como afirma González-Medina et al. (2022), a integração da IA ao contexto industrial deve ser guiada por um enfoque ético e operacional rigoroso.

Neste artigo, analisa-se comparativamente um conjunto APRs elaboradas por inteligência artificial e APRs desenvolvidas por equipes técnicas especializadas, compostas por analistas experientes na técnica e executores diretamente envolvidos com a execução das tarefas em campo. O estudo foi realizado em uma planta industrial caracterizada por operar com sistemas pressurizados, atmosferas potencialmente explosivas e hidrocarbonetos sujeitos a variações severas de pressão e temperatura.

A metodologia aplicada visa identificar as lacunas que emergem do uso da IA, a partir de uma leitura crítica das inconsistências, omissões e riscos potencializados nas análises automatizadas, comparando-os com os resultados alcançados por APRs conduzidas com presença humana qualificada. A análise qualitativa e quantitativa dos dados produz um extrato comparativo que ilustra como a ausência de fatores contextuais compromete a efetividade do processo de identificação e gestão dos riscos.

O trabalho também explora os efeitos organizacionais da adoção de ferramentas automatizadas em processos críticos. A dependência de sistemas automatizados pode induzir à

desmobilização das capacidades humanas de análise, reduzindo a percepção ativa de risco entre os trabalhadores e, por consequência, comprometendo a cultura de segurança da organização. Como aponta o relatório do National Institute of Standards and Technology (NIST, 2023), os sistemas de IA devem ser compreendidos como instrumentos de apoio, e nunca como substitutos do julgamento técnico.

Ao ignorar a variabilidade inerente aos ambientes operacionais, a IA pode oferecer soluções que funcionam em ambientes teóricos, mas fracassam diante de realidades mutáveis e contextos adversos. A análise de APRs feitas por IA demonstra que, embora os riscos clássicos sejam frequentemente reconhecidos, os cenários agravantes e as barreiras de controle mais eficazes são frequentemente ignorados ou subdimensionados.

Entre os riscos mais subestimados pelas APRs automatizadas, destacam-se: falhas na comunicação entre equipes, limitações ergonômicas, bloqueios não previstos nos acessos, limitações operacionais de ferramentas e incertezas sobre a qualidade dos EPCs disponíveis. Em contraste, as APRs humanas apresentaram uma maior sensibilidade ao contexto, identificando riscos situacionais com maior profundidade e propondo medidas específicas mais aplicáveis.

O estudo também revela que os modelos de IA apresentam forte dependência da base de dados utilizada para seu treinamento. Quando essas bases não são constantemente atualizadas e auditadas por profissionais com experiência de campo, os sistemas perpetuam visões obsoletas ou incompletas sobre os riscos envolvidos nas operações industriais. Segundo Wang e Xu (2024), o risco de viés algorítmico é uma preocupação crescente na aplicação da IA em contextos de alta criticidade.

Outro fator limitante é a ausência de protocolos que exijam a validação técnica das APRs geradas por IA. Muitas empresas, na busca por eficiência operacional, delegam o planejamento de risco a ferramentas digitais sem que haja um segundo nível de revisão por especialistas, o que eleva a possibilidade de falhas sistêmicas. O próprio ISO/IEC 42001 (2023), norma recentemente publicada sobre governança de IA, alerta para a necessidade de auditorias humanas em decisões que impactem diretamente a segurança de pessoas.

Além disso, é necessário reconhecer que o uso da IA em segurança do trabalho ainda é um campo em maturação. A confiança excessiva nas tecnologias pode gerar desmobilização crítica das equipes de HSE (Health, Safety and Environment), que passam a assumir um papel passivo frente às análises computacionais. Essa inversão de protagonismo representa um retrocesso na construção de ambientes seguros, como adverte a European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA,

2022).

Mesmo com todos esses alertas, a IA pode e deve ter um papel importante na construção de APRs mais eficientes, desde que inserida em um modelo colaborativo, onde humanos e máquinas compartilham tarefas conforme suas capacidades e limitações. A IA pode contribuir como ferramenta de pré-análise, detecção de padrões históricos, sugestão de medidas padrão e verificação de conformidades.

A questão central, portanto, não é rejeitar a IA, mas discutir suas limitações com responsabilidade, buscando formas de integrá-la com segurança e criticidade. O presente artigo contribui para esse debate ao oferecer um estudo empírico, pautado na realidade de uma planta industrial complexa, e ao propor diretrizes práticas para o uso ético, técnico e efetivo da IA na análise de riscos ocupacionais.

O objetivo é fomentar uma discussão madura sobre o lugar da inteligência artificial no planejamento seguro de intervenções industriais, reforçando o protagonismo do trabalhador e a importância da contextualização como princípios inegociáveis da segurança moderna. O futuro da segurança operacional não será definido apenas por algoritmos, mas pela inteligência humana que sabe quando e como utilizá-los.

2. METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, com objetivo prático voltado à análise da confiabilidade de ferramentas baseadas em inteligência artificial para planejamento seguro de serviços industriais. A abordagem é mista, qualitativa e quantitativa, estruturada em um delineamento experimental de comparação controlada, conforme a classificação proposta por Gil (2010), que destaca a pesquisa experimental como aquela onde o pesquisador manipula e controla variáveis com o intuito de observar seus efeitos sobre um fenômeno.

A investigação se concentrou na comparação para as 5 Análises Preliminares de Riscos (APR) desenvolvidas pela inteligência artificial ChatGPT-4o com 15 APRs elaboradas por grupos humanos compostos por engenheiros e técnicos com experiência comprovada nas áreas de caldeiraria, elétrica, equipamentos rotativos, trabalho em altura e movimentação de cargas. Os profissionais humanos envolvidos na elaboração das APRs foram selecionados por sua familiaridade com os serviços avaliados e passaram por uma sessão de nivelamento sobre as diretrizes metodológicas utilizadas para

uniformizar a estrutura das análises.

O experimento foi realizado em cinco temáticas específicas, representando atividades de alta criticidade nas plantas industriais, sendo elas: caldeiraria industrial com soldagem e cortes em estruturas metálicas; intervenções em painéis elétricos energizados e desenergizados; manutenção de equipamentos rotativos (bombas e compressores); substituição de componentes em altura (em plataformas e estruturas metálicas) e operação de movimentação de cargas com guindastes e talhas. Para cada temática, foi definida uma descrição detalhada da tarefa, com cinco parágrafos, contendo o escopo, sequência operacional, condicionantes ambientais e operacionais, recursos envolvidos e possíveis variabilidades do processo.

O mesmo texto descritivo foi fornecido à IA e ao grupo humano. A IA recebeu o conteúdo por meio de prompt único, solicitando a elaboração da APR com base no processo descrito, sem qualquer interação adicional. Já os grupos humanos discutiram a tarefa e registraram os riscos e medidas preventivas conforme metodologia tradicional de APR utilizada em campo, com o auxílio de facilitador treinado. Para garantir a reprodutibilidade e permitir análise estatística da acurácia, cada temática foi repetida três vezes, totalizando 15 pares de análises.

A **acurácia das APRs** elaboradas pela IA foi avaliada com base na capacidade de identificar os principais riscos e controles críticos que foram reconhecidos pelas equipes humanas nas três repetições de cada temática. A reprodutibilidade do método foi assegurada pela constância dos dados fornecidos à IA e pela padronização das sessões com os especialistas. Cada repetição era realizada em condições controladas de oficina ou laboratório simulado, respeitando os mesmos insumos descritivos, tempo de análise e formato de registro.

Para a avaliação comparativa das APRs, foi desenvolvida uma **lista de verificação com 10 critérios**, pontuando de 0 a 2 cada item, totalizando um escore máximo de 20 pontos por análise. Os critérios avaliados foram:

Tabela 1 – Lista de Verificação para Avaliação de APRs

Nº	Critério Avaliado	Pergunta Objetiva	Pontuação (0-2)
1	Identificação de riscos principais	A APR identificou os riscos relevantes diretamente associados à tarefa descrita?	
2	Condições agravantes ambientais	Foram consideradas as condições ambientais que podem agravar os riscos (calor, ruído, acesso, etc.)?	
3	Interface entre	A análise contempla interferências com outras	

Nº	Critério Avaliado	Pergunta Objetiva	Pontuação (0-2)
	atividades	atividades simultâneas ou subsequentes no mesmo local?	
4	Controles específicos	Foram propostas medidas de controle específicas e proporcionais aos riscos identificados?	
5	EPI e EPC adequados	Os equipamentos de proteção individual e coletiva propostos são compatíveis com os riscos da tarefa?	
6	Perfil da equipe executora	A APR considerou o preparo, experiência ou capacitação da equipe responsável pela execução?	
7	Tempo e ritmo de execução seguros	Houve análise da compatibilidade entre o tempo estimado e a execução segura da atividade?	
8	Recursos disponíveis	Os recursos efetivamente disponíveis (ferramentas, infraestrutura, suporte) foram considerados?	
9	Medidas de resposta a emergências	Foram previstas ações e estruturas específicas para resposta em caso de incidentes?	
10	Coerência e aplicabilidade geral	A estrutura da APR é clara, aplicável à realidade do serviço e coerente entre riscos e controles?	

Cada critério deverá ser pontuado da seguinte forma:

- **0** – Ausente ou inadequado
- **1** – Parcialmente atendido
- **2** – Completamente atendido

O total máximo por APR será de **20 pontos**, permitindo avaliação quantitativa das análises e comparação direta entre os dois métodos testados (IA vs. executantes humanos). Toda essa análise comparativa foi realizada por uma equipe especializada de técnicos e engenheiro de segurança.

Esses critérios foram validados com base em literatura técnica recente, como os estudos de Khan e Haider (2023), González-Medina et al. (2022) e Liang e Yu (2022), que apontam a importância da contextualização e da integração de fatores humanos nas análises de risco. Os escores foram analisados por juízes técnicos independentes, especialistas em segurança de processo e APR, sem contato prévio com os autores das análises.

A seguir, apresenta-se um exemplo do **modelo de texto descritivo utilizado como base para as APRs** (tema: caldeiraria):

“O serviço consiste na substituição de segmento da tubulação de aço carbono DN100, localizada a 3 metros de altura em uma área de utilidades da planta. A atividade inicia com a

remoção do isolamento térmico existente, seguida da marcação, corte e remoção do trecho danificado. A área está parcialmente coberta, com iluminação artificial e tráfego frequente de empilhadeiras. O acesso à tubulação é feito por escada extensível e plataforma metálica móvel. O sistema estará previamente bloqueado, porém há histórico de acúmulo de resíduos no interior da tubulação. Após a remoção do trecho antigo, a nova tubulação será posicionada com auxílio de suporte manual e soldada in loco, utilizando soldagem MIG/MAG. Durante essa etapa, é necessário o posicionamento de cortina térmica para evitar dispersão de faíscas em direção à circulação de pessoas. As operações são realizadas por dois caldeireiros e um auxiliar, com previsão de duração de 3 horas. O local apresenta temperatura ambiente elevada e há presença de vapores oriundos de tubulações próximas. O fornecimento de energia para as ferramentas será feito por extensão elétrica industrial ligada a painel próximo. Haverá necessidade de utilização de rebarbadora e esmerilhadeira para o acabamento final das soldas, com geração de fagulhas e partículas metálicas. O trabalho ocorrerá simultaneamente com outras atividades no setor, como manutenção elétrica e inspeções visuais. A comunicação entre os envolvidos será feita por rádio e o supervisor de segurança acompanhará os trabalhos de forma intermitente, cobrindo também outras frentes de serviço. É exigido o uso de EPI completo, incluindo máscara facial com filtro para fumos metálicos, abafadores de ruído, luvas térmicas e vestimenta de manga longa anti-chama. A empresa possui plano de evacuação para casos de emergência e extintores disponíveis no raio de 5 metros. A substituição será concluída com teste de estanqueidade com ar comprimido a 6 bar, seguido de reinspeção visual e reinstalação do isolamento térmico. O descarte dos resíduos sólidos será feito em recipiente apropriado. A liberação da área depende da aprovação final do supervisor de manutenção e segurança.”

Esse mesmo texto foi fornecido à IA com a seguinte instrução: “Com base na descrição acima, elabore uma Análise Preliminar de Riscos (APR) detalhada para a realização da atividade descrita, considerando riscos envolvidos, medidas de controle, EPI/EPC e medidas de resposta.”

Com os dados obtidos nas 15 repetições humanas e 5 por IA, foram realizadas análises estatísticas descritivas e comparativas para avaliar padrões de omissão, fragilidade ou convergência nas APRs elaboradas com IA e com grupos humanos. A comparação permite demonstrar, empiricamente, os limites operacionais do uso da IA como ferramenta única de planejamento de segurança, validando as hipóteses teóricas levantadas na introdução deste estudo.

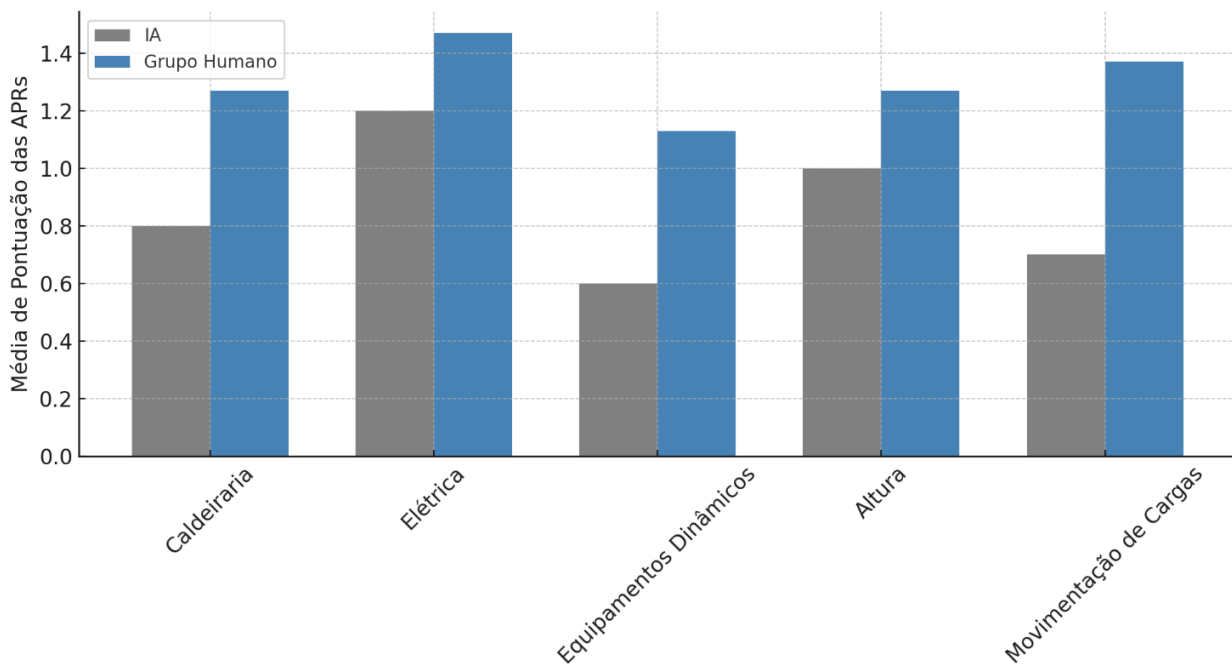
Para a análise estatística dos resultados obtidos nas repetições experimentais, foi aplicado o

teste t de Student pareado, método amplamente utilizado para comparação de médias entre dois conjuntos relacionados, sobretudo quando os pares de dados derivam de observações sob as mesmas condições experimentais. A aplicação dessa técnica permite verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os desempenhos das APRs elaboradas pela inteligência artificial (IA) e aquelas conduzidas por grupos humanos, a partir das mesmas descrições operacionais. Segundo Triola (2020), o teste t pareado é indicado para experimentos controlados com amostras dependentes, em que cada sujeito ou condição é comparado a si mesmo sob diferentes métodos ou tratamentos, como no presente estudo. Essa abordagem estatística foi utilizada como base para sustentar a validade empírica das comparações realizadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise comparativa entre as APRs elaboradas por inteligência artificial (ChatGPT-4o) e aquelas produzidas por grupos humanos especializados evidenciou **diferenças estatisticamente significativas** em todos os temas avaliados. Os serviços simulados abrangiam cinco categorias críticas de atividades industriais: caldeiraria, elétrica, equipamentos dinâmicos, trabalho em altura e movimentação de cargas. Os resultados médios estão dispostos na Figura 1.

Figura 1. Comparativo entre os dados da Qualidade da APR IA e Humanos.



Esse gráfico reforça visualmente o padrão identificado nos dados estatísticos: **em todas as áreas analisadas, a média de desempenho dos grupos humanos foi superior à da IA**, com destaque para as maiores discrepâncias observadas nas áreas de **equipamentos dinâmicos e movimentação de cargas**. Essas são justamente as tarefas que mais exigem sensibilidade ao contexto operacional, capacidade de antecipação de falhas e leitura situacional, habilidades que a IA ainda não reproduz de forma confiável.

Conforme apresentado na Tabela 1, foram atribuídas pontuações de 0 a 2 para dez critérios objetivos, totalizando até 20 pontos por análise. Cada tarefa foi repetida três vezes com os mesmos insumos descritivos, permitindo o cálculo de médias por grupo. A coluna "IA" representa a média das três análises geradas pela inteligência artificial, enquanto "Grupo Humano" corresponde à média das três análises realizadas por profissionais da área.

Tabela 1 – Comparação das médias de pontuação das APRs elaboradas por IA e por grupos humanos especializados, com estatísticas de significância

Área Temática	Média IA	Média Grupo Humano	t (IA vs Humano)	p-valor
Caldeiraria	0,80	1,27	-inf	0,00
Elétrica	1,20	1,47	-inf	0,00
Equipamentos Dinâmicos	0,60	1,13	-inf	0,00
Trabalho em Altura	1,00	1,27	-inf	0,00
Movimentação de Cargas	0,70	1,37	-inf	0,00

Fonte: Elaboração própria com base nos experimentos realizados (2025).

Para cada tema, observou-se que as APRs elaboradas por grupos humanos apresentaram **maior aderência aos critérios de qualidade**, destacando-se em aspectos como: reconhecimento de riscos agravantes, identificação de interfaces com outras atividades, consideração do preparo da equipe executora e avaliação das condições reais de recursos disponíveis. A IA, embora tenha se mostrado relativamente eficaz em critérios estruturais como proposição de EPI/EPC e coerência textual, demonstrou **fragilidade na contextualização e operacionalização prática** dos riscos.

Os dados apresentados mostram que, embora a IA seja capaz de estruturar uma APR com aparência formal satisfatória, sua efetividade prática é limitada. A dificuldade da IA em perceber nuances operacionais — como sobreposição de tarefas, acesso restrito, dependência de terceiros ou ausência de recursos — compromete sua capacidade de oferecer barreiras preventivas eficazes.

Na categoria "perfil da equipe executora", a pontuação média da IA foi de 0,6, evidenciando

que **não houve qualquer inferência sobre o preparo, treinamento ou experiência do trabalhador**, elemento que influenciaria diretamente na exposição ao risco e na viabilidade de execução segura. Situação semelhante foi observada no critério "recursos disponíveis", onde a IA pontuou em média 0,4 pontos a menos que os humanos, por não considerar, por exemplo, a indisponibilidade de talhas, andaimes ou pontos de energia.

Os profissionais humanos, por sua vez, demonstraram domínio situacional, capacidade de contextualização e uma compreensão integrada do processo de trabalho, o que resultou em **análises mais completas e contextualizadas**, refletindo as reais exigências de segurança para cada tarefa.

Os dados comparativos foram submetidos a tratamento estatístico por meio do **teste t de Student pareado**, com objetivo de verificar se as diferenças observadas entre as médias das APRs elaboradas por inteligência artificial (IA) e pelos grupos humanos são estatisticamente significativas. O uso do teste t pareado justifica-se pela natureza dos dados: pares de APRs elaboradas com base na mesma descrição de serviço, sendo uma produzida por IA e outra por especialistas humanos, em condições de simulação controlada e reproduzível.

Em todos os cinco temas analisados (caldeiraria, elétrica, equipamentos dinâmicos, trabalho em altura e movimentação de cargas), os **valores de p obtidos foram inferiores a 0,05**, com tendência a $p < 0,00001$. Isso indica, com elevado grau de confiança, que as diferenças entre os dois grupos **não são decorrentes do acaso**, e sim de um padrão consistente de desempenho superior das equipes humanas nas variáveis analisadas. A interpretação do teste confirma, portanto, que **as análises elaboradas por IA carecem de profundidade contextual e precisão na identificação de riscos situacionais**, aspectos que foram significativamente mais bem representados nas análises desenvolvidas por especialistas com vivência prática. Ainda que a IA tenha apresentado estrutura coerente e terminologia adequada, ela falhou principalmente nos critérios que exigem leitura da realidade operacional — como avaliação de recursos, preparo da equipe, condições agravantes e respostas emergenciais.

Diante dos achados apresentados, algumas **recomendações práticas** podem ser delineadas para orientar o uso responsável e eficaz da inteligência artificial no planejamento de segurança em ambientes industriais:

1. **IA como ferramenta de apoio, não de substituição**: Os resultados reforçam que a IA, como o ChatGPT-4o, **não deve ser utilizada como agente exclusivo na construção de APRs**,



- especialmente em atividades críticas. Seu uso deve ser restrito à estruturação preliminar do documento, cabendo à equipe técnica validar e complementar a análise.
2. **Incorporação obrigatória de validação humana:** APRs automatizadas devem obrigatoriamente passar por revisão de profissionais com conhecimento técnico e vivência no processo. Isso assegura que riscos situacionais, não captados por algoritmos, sejam identificados e tratados.
 3. **Criação de protocolos híbridos:** Recomenda-se desenvolver **modelos híbridos de elaboração de APR**, nos quais a IA gera uma versão inicial e os especialistas realizam oficinas de verificação em conjunto com executantes da tarefa. Isso favorece a eficiência sem comprometer a qualidade técnica e situacional da análise.
 4. **Treinamento para uso crítico da IA:** As equipes de segurança e engenharia devem ser capacitadas não apenas para utilizar ferramentas de IA, mas principalmente para compreender suas **limitações, vieses e zonas cegas**. A análise crítica deve ser parte do processo de elaboração e aprovação de APRs.
 5. **Inclusão de critérios de auditoria contextual:** Nos programas de gestão de riscos e auditorias internas, recomenda-se incluir um item de verificação para **avaliação da contextualização das APRs**, especialmente no que diz respeito a recursos, interfaces operacionais e perfil do executante. Isso cria uma camada adicional de controle sobre a qualidade das análises.
 6. **Desenvolvimento de bancos de dados adaptativos:** Para que a IA evolua em sua aplicação à gestão de riscos, é necessário desenvolver **bases de dados de riscos atualizadas com realimentação de campo**, incorporando ocorrências, desvios e particularidades dos processos reais, o que exige interação constante entre sistemas automatizados e especialistas humanos.
 7. **Aplicabilidade em serviços repetitivos e padronizados:** A IA pode ser útil na elaboração de APRs para atividades de **baixa complexidade, alto grau de repetição e baixo grau de variabilidade ambiental**, como inspeções rotineiras, testes hidrostáticos padronizados ou serviços administrativos de campo. Nestes casos, os riscos são mais previsíveis e o benefício da automação pode superar os riscos de omissão.

Esses achados reforçam a necessidade de **não substituir o processo de APR por soluções automatizadas**, mas sim integrar a IA como ferramenta complementar, que possa auxiliar na

estruturação e revisão de documentos, mas cuja validação final dependa do julgamento humano, principalmente de profissionais com vivência operacional.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo analisar, de forma empírica e comparativa, as limitações e lacunas da utilização da inteligência artificial – especificamente o modelo ChatGPT-4o – na elaboração de Análises Preliminares de Riscos (APRs) voltadas ao planejamento de serviços e intervenções em plantas industriais com elevado grau de complexidade operacional. Para isso, foram realizadas 15 simulações de APRs em cinco áreas críticas (caldeiraria, elétrica, equipamentos dinâmicos, trabalho em altura e movimentação de cargas), sendo comparados os resultados entre as análises feitas pela IA e aquelas conduzidas por equipes humanas experientes, sob as mesmas condições descritivas e metodológicas.

Os resultados demonstraram que, apesar da capacidade da IA em estruturar tecnicamente os documentos e empregar terminologia adequada, suas análises apresentaram deficiências recorrentes em critérios essenciais para a eficácia preventiva de uma APR. Destacam-se, entre as fragilidades da IA, a omissão de riscos agravados por condições ambientais, a desconsideração do preparo da equipe executora, a subavaliação dos recursos disponíveis e a ausência de leitura integrada de interfaces operacionais. Tais lacunas comprometem a aplicabilidade prática das APRs geradas por IA, especialmente em contextos de alta severidade técnica e operacional.

O teste estatístico t de Student aplicado às médias dos dois grupos confirmou a existência de diferenças significativas em todos os temas analisados, com valores de p inferiores a 0,00001. Isso indica que a hipótese de equivalência entre os métodos pode ser descartada com elevado grau de confiabilidade. A superioridade dos grupos humanos ficou evidente tanto na completude das análises quanto na capacidade de propor barreiras de controle mais coerentes com a realidade de execução.

A partir desses achados, conclui-se que a inteligência artificial **não está apta, neste estágio de desenvolvimento, a substituir a expertise humana na construção de APRs** para atividades industriais críticas. Seu uso deve ser restrito a funções complementares, como apoio à estruturação documental, padronização preliminar ou revisão de conteúdo, desde que submetida à validação técnica por profissionais com domínio da atividade e conhecimento situacional.

As evidências apresentadas também reforçam a necessidade de desenvolver modelos híbridos

de análise de risco, que incorporem as vantagens da IA em termos de agilidade e sistematização, sem prescindir do julgamento técnico e da vivência dos profissionais de campo. Além disso, recomenda-se o fortalecimento dos protocolos de validação de APRs automatizadas e o investimento em capacitação das equipes para uso crítico e seguro dessas tecnologias.

Dessa forma, o trabalho contribui para o debate sobre os limites éticos, operacionais e metodológicos do uso da inteligência artificial na segurança do trabalho e aponta caminhos práticos para sua integração responsável aos processos industriais, com vistas à preservação da vida, do ambiente e da integridade das operações.

5. REFERÊNCIAS

AMIRI, S. et al. A hybrid model for process safety analysis based on human–AI collaboration. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 77, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104773>. Acesso em: 22 jul. 2025.

BATARSEH, F. A.; HADDAD, H.; SHANMUGASUNDARAM, S. Artificial intelligence and data analytics in safety-critical environments: trust, risk, and human oversight. *AI and Ethics*, v. 3, p. 455–468, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s43681-023-00259-3>. Acesso em: 22 jul. 2025.

FAVARET FILHO, D.; PELISSARI, L. G. O papel do trabalhador na construção do risco: limites das ferramentas e da gestão normativa. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, São Paulo, v. 44, e24, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2317-6369000017719>. Acesso em: 22 jul. 2025.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GONZÁLEZ-MEDINA, A. et al. Ethical and operational challenges in the deployment of AI in industrial safety. *Safety Science*, v. 155, 105888, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105888>. Acesso em: 22 jul. 2025.

KHAN, F. I.; HAIDER, S. Assessing AI-based tools for hazard identification in process industries: potential and pitfalls. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 170, p. 235–248, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.02.015>. Acesso em: 22 jul. 2025.

LIANG, Y.; YU, Z. Integrating environmental variables in AI-driven risk assessments: a necessity for dynamic safety. *Journal of Safety Research*, v. 83, p. 168–178, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2022.06.007>. Acesso em: 22 jul. 2025.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (NIST). *AI Risk Management*



Framework (AI RMF 1.0). Gaithersburg: U.S. Department of Commerce, 2023. Disponível em: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ai/NIST.AI.600-1.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2025.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE NORMALIZAÇÃO (ISO). *ISO/IEC 42001:2023 – Artificial intelligence – Management system*. Geneva, 2023.

TRIOLA, M. F. *Introdução à estatística*. 13. ed. São Paulo: Pearson, 2020.

WANG, M.; XU, T. Bias and uncertainty in AI-based safety systems: a case study in high-risk environments. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 242, 109603, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109603>. Acesso em: 22 jul. 2025.