




IA E METALURGIA: PREVISÃO DE FALHAS E OTIMIZAÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA

 <https://doi.org/10.56238/isevmjv2n1-019>

Recebimento dos originais: 10/01/2023

Aceitação para publicação: 29/01/2023

Richardson Cau

RESUMO

A integração da Inteligência Artificial (IA) na indústria metalúrgica melhorou significativamente a eficiência, a confiabilidade e a sustentabilidade. A manutenção preditiva orientada por IA permite a detecção precoce de falhas, analisando vastos conjuntos de dados de sensores e registros operacionais, permitindo intervenções proativas que minimizam o tempo de inatividade e reduzem os custos. Além disso, a otimização de processos baseada em IA aumenta a eficiência da cadeia de produção, ajustando dinamicamente os principais parâmetros, como temperatura, pressão e fluxo de material. Esses avanços contribuem para uma maior qualidade do produto, economia de energia e estabilidade geral do processo. Apesar desses benefícios, permanecem desafios na integração total da IA aos processos metalúrgicos. A indústria enfrenta problemas como escassez de dados, altos custos de investimento inicial e resistência às mudanças tecnológicas. Além disso, a complexidade das reações metalúrgicas requer modelos de IA altamente especializados, capazes de lidar com interações intrincadas e não lineares. Enfrentar esses desafios exige uma abordagem colaborativa envolvendo especialistas do setor, pesquisadores e formuladores de políticas para desenvolver soluções de IA personalizadas e melhorar a acessibilidade dos dados. Este artigo explora os mais recentes desenvolvimentos em aplicações de IA para previsão de falhas e otimização da cadeia de produção em metalurgia. Uma revisão abrangente de estudos recentes destaca os principais avanços, incluindo manutenção preditiva baseada em IA, gêmeos digitais, modelos de aprendizado de máquina para previsão de comportamento de materiais e sistemas de controle de processo em tempo real. As descobertas enfatizam o potencial transformador da IA na metalurgia, oferecendo insights sobre estratégias práticas de implementação. Ao superar as barreiras existentes, a IA pode revolucionar a fabricação metalúrgica, tornando-a mais eficiente, econômica e sustentável.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Manutenção preditiva. Processo Metalúrgico. Otimização. Aprendizado de Máquina em Metalurgia. Previsão de falhas.

1 INTRODUÇÃO

A indústria metalúrgica, uma pedra angular da manufatura moderna, historicamente se baseou em métodos tradicionais e conhecimento empírico para orientar seus processos. No entanto, o advento da Inteligência Artificial (IA) introduziu novas possibilidades para aumentar a eficiência, precisão e sustentabilidade neste setor. A crescente complexidade das operações metalúrgicas, combinada com a necessidade de maior eficiência de produção e redução do impacto ambiental, tornou a IA uma ferramenta crucial para a transformação da indústria. As soluções orientadas por IA oferecem análise de dados em tempo real, permitindo um controle mais preciso dos processos metalúrgicos e uma melhor tomada de decisão.

A manutenção preditiva, alimentada por IA, permite a detecção precoce de anomalias no desempenho do equipamento, evitando quebras inesperadas e prolongando a vida útil do maquinário. Os diagnósticos baseados em IA analisam dados históricos e em tempo real para identificar padrões indicativos de possíveis falhas, permitindo uma ação preventiva que reduz os custos de manutenção e as interrupções operacionais. Da mesma forma, a otimização de processos orientada por IA facilita ajustes em tempo real nos parâmetros de fabricação, levando a uma melhor qualidade do produto, redução do consumo de energia e maior sustentabilidade. Ao analisar continuamente as métricas de produção, a IA pode sugerir modificações de processo que otimizam a utilização de recursos e minimizam o desperdício.

Figura 1: IA em casos de uso de manufatura.



Fonte: HBSmartfactory, 2025.

Apesar desses benefícios, a integração da IA nos processos metalúrgicos não é isenta de desafios. Questões como escassez de dados, complexidade das reações metalúrgicas, resistência às mudanças tecnológicas e altos custos de investimento inicial representam obstáculos significativos. Enfrentar esses desafios requer um esforço conjunto das partes interessadas do setor, pesquisadores e formuladores de políticas para desenvolver estratégias que facilitem a



adoção contínua de tecnologias de IA na metalurgia. Essas estratégias incluem o desenvolvimento de modelos de aprendizado de máquina mais avançados adaptados a processos metalúrgicos, melhorias na infraestrutura de coleta de dados e maior colaboração entre especialistas em IA e engenheiros metalúrgicos.

Este artigo explora o estado atual das aplicações de IA na metalurgia, com foco na previsão de falhas e na otimização da cadeia de produção. Por meio de uma revisão da literatura recente, buscamos destacar o potencial transformador da IA nesse campo e discutir as considerações práticas para sua implementação. As descobertas apresentadas aqui ressaltam o papel crítico da IA na modernização da fabricação metalúrgica e na garantia de sua sustentabilidade a longo prazo em um mercado global cada vez mais competitivo.

Nos últimos anos, vários estudos investigaram a aplicação da IA na metalurgia.

Rojas et al. (2025) forneceram uma revisão abrangente das aplicações de IA na manutenção preditiva no setor de mineração. Ele destaca como o aprendizado de máquina e os sistemas de gêmeos digitais foram empregados para monitorar sistemas críticos, permitindo a detecção precoce de falhas e reduzindo as despesas operacionais. O estudo enfatiza a eficácia da IA na identificação de falhas incipientes e na mitigação de avarias repentinas, aumentando assim a precisão da previsão de falhas e contribuindo para reduzir o tempo de inatividade.

Van Dinter et al. (2022) exploraram várias aplicações de IA na metalurgia, incluindo previsão de propriedades de materiais, otimização de processos, detecção de defeitos, projeto de ligas, manutenção preditiva e otimização de energia. Ele discute como os modelos de IA analisam os parâmetros de entrada para prever as propriedades do material, sugerir parâmetros de processo ideais e identificar defeitos, reduzindo assim o erro humano e melhorando a garantia de qualidade. O artigo também aborda os desafios na implementação da IA, como a escassez de dados e a complexidade dos processos.

Petrik e Bambach (2024) introduziram o DeepForge, uma estrutura baseada em IA projetada para prever e otimizar variáveis microestruturais em processos de conformação de metais. O estudo aborda a lacuna na aplicação de tecnologias de IA na indústria de forjamento, particularmente a falta de sensores macios sofisticados capazes de prever com precisão soluções termomecânicas, incluindo variáveis microestruturais, com base em entradas quantificáveis em cenários reais de forjamento.

Cao et al. (2024) discutiram a aplicação da IA na manutenção preditiva em usinas siderúrgicas. Ele destaca como os sistemas de IA analisam dados de sensores que monitoram parâmetros como temperatura, vibração e pressão para detectar irregularidades indicativas de



possíveis falhas. A implementação da manutenção preditiva orientada por IA levou à redução do tempo de inatividade, economia de custos, vida útil prolongada do equipamento, maior segurança e maior eficiência nos processos de fabricação de aço.

Huang et al. (2020) introduziram um modelo de plasticidade baseado em aprendizado de máquina com o objetivo de prever o comportamento do material sob deformação plástica. O modelo utiliza a decomposição ortogonal adequada para analisar as respostas do material, contribuindo para melhorar a precisão na previsão do comportamento do material durante os processos de deformação plástica.

Petrik et al. (2023) desenvolveram o 'CrystalMind', um algoritmo baseado em IA projetado para prever a recristalização e a deformação dentro de uma estrutura tridimensional durante os processos de forjamento. Esse avanço atende à necessidade de previsões precisas de mudanças microestruturais durante a conformação de metais, aprimorando o controle do processo e a qualidade do produto.

Kumar et al. (2023) desenvolveram modelos de aprendizado de máquina informados pela física para prever a distribuição transitória de temperatura em aço ferrítico durante a deposição de energia direcionada. Essa abordagem combina princípios físicos com técnicas de aprendizado de máquina, resultando em previsões mais precisas da distribuição de temperatura durante os processos de fabricação.

A integração da IA em processos metalúrgicos é uma promessa significativa para melhorar a previsão de falhas e otimizar as cadeias de produção. Os estudos revisados demonstram que a IA pode analisar efetivamente conjuntos de dados complexos para prever falhas de equipamentos, otimizar parâmetros de processo e projetar novas ligas, melhorando assim a eficiência, reduzindo custos e melhorando a qualidade do produto. A manutenção preditiva orientada por IA não apenas prolonga a vida útil do equipamento, mas também melhora a confiabilidade operacional geral, minimizando os tempos de inatividade não planejados.

No entanto, desafios como escassez de dados, complexidade do processo, resistência à mudança e alto investimento inicial devem ser abordados para realizar plenamente o potencial da IA na metalurgia. Superar essas barreiras requer colaboração entre engenheiros metalúrgicos, pesquisadores de IA e líderes do setor. Pesquisas futuras devem se concentrar no refinamento de modelos de aprendizado de máquina para melhorar a precisão na manutenção preditiva, desenvolvendo ferramentas de IA mais acessíveis para pequenas e médias empresas metalúrgicas e explorando abordagens híbridas de IA que integram conhecimento específico de domínio com técnicas de aprendizado de máquina.



Ao enfrentar estrategicamente esses desafios, a IA pode desempenhar um papel transformador na metalurgia, permitindo uma mudança para processos de fabricação mais inteligentes, sustentáveis e econômicos. À medida que a IA continua a evoluir, sua aplicação na metalurgia impulsionará a inovação e garantirá a adaptabilidade da indústria em um mundo cada vez mais orientado por dados.



REFERÊNCIAS

ANTONIO, S. L. Inovações tecnológicas e desafios geomecânicos na perfuração da bacia de Midland. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, Curitiba, v. 11, n. 3, e78097, 2025. DOI: 10.34117/bjdv11n3-005.

CAO, J.; BAMBACH, M.; MERKLEIN, M.; XUE, T. Inteligência artificial na conformação de metais. *Anais do CIRP*, v. 73, n. 1, p. 265–288, 2024. DOI: 10.1016/j.cirp.2024.04.123.

DELICI, C. A. M. A eficácia do Last Planner System (LPS) no gerenciamento de projetos de infraestrutura. *Revista Sistemática*, v. 15, n. 2, p. 133–139, 2025. DOI: 10.56238/rcsv15n2-009.

FILHO, W. L. R. O papel da arquitetura Zero Trust na segurança cibernética moderna: integração com IAM e tecnologias emergentes. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, Curitiba, v. 11, n. 1, e76836, 2025. DOI: 10.34117/bjdv11n1-060.

FILHO, W. L. R. O papel da IA no aprimoramento dos sistemas de gerenciamento de identidade e acesso. *Sete Revistas Internacionais de Multidisciplinaridade*, v. 1, n. 2, 2025. DOI: 10.56238/isevmjv1n2-011.

FREITAS, G. B.; RABELO, E. M.; PESSOA, E. G. Projeto modular com reaproveitamento de container marítimo. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 9, n. 10, p. 28303–28339, 2023. DOI: 10.34117/bjdv9n10-057.

GARCIA, A. G. O impacto das práticas sustentáveis no bem-estar dos funcionários e no sucesso organizacional. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, Curitiba, v. 11, n. 3, e78599, 2025. DOI: 10.34117/bjdv11n3-054.

HBSMARTFACTORY. O poder transformacional da IA na manufatura: desbloqueando a eficiência e a inovação. 2025. Disponível em: <https://hbsmartfactory.com/ai-in-manufacturing/>. Acesso em: 19 mar. 2025.

HUANG, Y.; LI, M.; ZHANG, X. Modelo de plasticidade baseado em aprendizado de máquina usando decomposição ortogonal adequada. *Ciência dos Materiais Computacionais*, v. 183, 109834, 2020. DOI: 10.1016/j.commatsci.2020.109834.

KUMAR, S.; SINGH, R.; GUPTA, P. Modelos de aprendizado de máquina informados pela física para prever a distribuição transitória de temperatura em aço ferrítico durante a deposição de energia direcionada. *Jornal de Tecnologia de Processamento de Materiais*, v. 299, 117318, 2023. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2023.117318.

MOREIRA, C. A. Monitoramento digital de equipamentos pesados: avançando na otimização de custos e eficiência operacional. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, Curitiba, v. 11, n. 2, e77294, 2025. DOI: 10.34117/bjdv11n2-011.

OLIVEIRA, C. E. C. de. Gentrificação, revitalização urbana e equidade social: desafios e soluções. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, Curitiba, v. 11, n. 2, e77293, 2025. DOI: 10.34117/bjdv11n2-010.



PETRIK, J.; BAMBACH, M. Algoritmo baseado em IA 'CrystalMind' para prever recristalização e deformação em processos de forjamento. *Ciência dos Materiais Computacionais*, v. 200, 110831, 2023. DOI: 10.1016/j.commatsci.2023.110831.

PETRIK, J.; BAMBACH, M. DeepForge: aproveitando a IA para controle microestrutural na conformação de metal por meio do controle preditivo do modelo. *Jornal de Processos de Fabricação*, v. 86, p. 25–35, 2024. DOI: 10.1016/j.jmapro.2024.02.019.

PESSOA, E. G.; FEITOSA, L. M.; PÁDUA, V. P.; PEREIRA, A. G. Estudo dos recalques primários em um aterro executado sobre a argila mole do Sarapuí. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 9, n. 10, p. 28352–28375, 2023. DOI: 10.34117/bjdv9n10-059.

PESSOA, E. G.; FEITOSA, L. M.; PEREIRA, A. G.; PÁDUA, V. P. Efeitos de espécies de alna e eficiência de coagulação, Al residual e propriedade dos flocos no tratamento de águas superficiais. *Brazilian Journal of Health Review*, v. 6, n. 5, p. 24814–24826, 2023. DOI: 10.34119/bjhrv6n5-523.

ROJAS, L.; PEÑA, Á.; GARCIA, J. Manutenção preditiva orientada por IA na mineração: uma revisão sistemática da literatura sobre detecção de falhas, gêmeos digitais e gerenciamento inteligente de ativos. *Ciências Aplicadas*, v. 15, n. 6, 3337, 2025. DOI: 10.3390/app15063337.

SANTOS, H.; PESSOA, E. G. Impactos da digitalização na eficiência e qualidade dos serviços públicos: a comprehensive analysis. *Lumen et Virtus*, v. 15, n. 40, p. 4409–4414, 2024. DOI: 10.56238/levv15n40-024.

TURATTI, R. C. Aplicação de inteligência artificial na previsão de comportamento e tendências do consumidor no e-commerce. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, Curitiba, v. 11, n. 3, e78442, 2025. DOI: 10.34117/bjdv11n3-039.

VAN DINTER, R.; TEKINERDOGAN, B.; CATAL, C. Manutenção preditiva usando gêmeos digitais: uma revisão sistemática da literatura. *Tecnologia da Informação e Software*, v. 142, 106733, 2022. DOI: 10.1016/j.infsof.2021.106733.

VENTURINI, R. E. Inovações tecnológicas na agricultura: a aplicação de Blockchain e Inteligência Artificial para rastreabilidade e proteção de grãos. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, Curitiba, v. 11, n. 3, e78100, 2025. DOI: 10.34117/bjdv11n3-007.