

Ensaaios não destrutivos: a interação com IA

Non-destructive testing: interaction with AI

Gabriel Augusto da Silva¹

Mikael Vitorio Soares²

Wesley Marques Silva³

Antonio Carlos Santos de Arruda⁴

Magda Dias Gonçalves Rios⁵

RESUMO

Este trabalho analisa a importância dos ensaios não destrutivos no contexto industrial e discute sua integração com técnicas de inteligência artificial como estratégia para elevar a precisão, a confiabilidade e a eficiência dos processos de inspeção. O estudo destaca, de forma teórica, que os ensaios não destrutivos exercem papel fundamental na detecção precoce de falhas, preservando a integridade dos materiais e garantindo a continuidade operacional, o que os torna indispensáveis para a segurança e para a redução de custos associados a paradas inesperadas. A pesquisa apresenta métodos amplamente utilizados, como ultrassom, radiografia, partículas magnéticas e correntes parasitas, descrevendo suas aplicações e características essenciais. A análise incorpora o uso de inteligência artificial como recurso capaz de aprimorar a interpretação de sinais, identificar padrões complexos e acelerar o processamento de dados, utilizando algoritmos de aprendizado de máquina e visão computacional. A interação entre dispositivos de inspeção, sistemas digitais e modelos inteligentes demonstra potencial significativo para ampliar a assertividade das avaliações e reduzir incertezas operacionais. Os resultados evidenciam que a combinação entre ensaios não destrutivos e inteligência artificial fortalece a confiabilidade estrutural, otimiza processos de manutenção e contribui para decisões mais precisas. Conclui-se que essa convergência tecnológica representa um avanço essencial para a indústria, consolidando práticas mais seguras, padronizadas e eficientes.

Palavras-chave: Ensaaios não destrutivos. Inteligência artificial. Integridade estrutural.

Visão computacional. Aprendizado de máquina.

¹ Acadêmico do curso de Manutenção Industrial da FATEC Osasco – Prefeito Hirant Sanazar

² Acadêmico do curso de Manutenção Industrial da FATEC Osasco – Prefeito Hirant Sanazar.

³ Acadêmico do curso de Manutenção Industrial da FATEC Osasco – Prefeito Hirant Sanazar.

⁴ Docente do Curso Superior de Manutenção Industrial da FATEC Osasco – Prefeito Hirant Sanazar.

⁵ Docente do Curso Superior de Manutenção Industrial da FATEC Osasco – Prefeito Hirant Sanazar.

ABSTRACT

This study analyzes the importance of non-destructive testing in the industrial context and discusses its integration with artificial intelligence techniques as a strategy to increase the accuracy, reliability, and efficiency of inspection processes. The study theoretically highlights that non-destructive testing plays a fundamental role in the early detection of failures, preserving material integrity and ensuring operational continuity, which makes it indispensable for safety and for reducing costs associated with unexpected shutdowns. The research presents widely used methods, such as ultrasound, radiography, magnetic particles, and eddy currents, describing their applications and essential characteristics. The analysis incorporates the use of artificial intelligence as a resource capable of improving signal interpretation, identifying complex patterns, and accelerating data processing through machine learning and computer vision algorithms. The interaction between inspection devices, digital systems, and intelligent models demonstrates significant potential to increase the accuracy of assessments and reduce operational uncertainties. The results show that the combination of non-destructive testing and artificial intelligence strengthens structural reliability, optimizes maintenance processes, and contributes to more accurate decision-making. It is concluded that this technological convergence represents an essential advancement for industry, consolidating safer, more standardized, and more efficient practices.

Keywords: Non-destructive testing. Artificial intelligence. Structural integrity. Computer vision. Machine learning.

1 INTRODUÇÃO

Os ensaios não destrutivos (END) têm, ao decorrer da história, incorporado diversos avanços tecnológicos de forma a ampliar sua eficiência e aplicabilidade. Neste contexto, a inteligência artificial (IA) tem se mostrado promissora por sua capacidade detectar falhas e otimizar diferentes processos de inspeção (TAHERI, h.; BOCANEGRA, m. g.; TAHERI, m, 2022).

Desde os primórdios, práticas equivalentes aos conceitos atuais de END já eram realizadas de forma empírica, tendo como exemplo os ensaios visuais, utilizados a todo momento em nosso dia a dia, sendo um exemplo notável desta questão, o processo de escolha ou verificação de um objeto qualquer, onde a partir do momento que verificamos se o mesmo possui algum defeito, este processo caracteriza-se como um ensaio não destrutivo. A Sociedade Americana de Ensaios Não Destrutivos (ASNT) define o END como “a determinação da condição física de um objeto sem afetar sua capacidade de desempenhar sua função prevista”. [ASTN Nondestructive Testing Handbook – Glossary 2002]

Tradicionalmente existem outras técnicas para os ensaios não destrutivos como os Líquidos Penetrantes, Partículas Magnéticas, Ultrassom, Raio-X, Correntes Parasitas, Emissão Acústica, Estanqueidade e Termografia, presentes na indústria (HELLIER, 2013). Esses ensaios são de suma importância para a indústria, pois permitem a avaliação da integridade e segurança de diversos materiais sem causar qualquer dano ao material testado. Os ENDs são aplicados com frequência em diversas indústrias como a têxtil, automobilística, metalúrgica, nuclear, aeroespacial, naval, do petróleo, da cerâmica e de polímeros, com os objetivos de avaliar a matéria-prima para processamento, os materiais intermediários durante o processamento, controlar os parâmetros de processo, inspecionar produtos acabados e avaliar produtos e estruturas em funcionamento (SILVA, 2021). A partir de 1982, os ensaios não destrutivos (END) impulsionaram uma nova etapa no Brasil, pela iniciativa da Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI) promover ações para a estruturação e formação de profissionais na área com uma padronização técnica e a certificação na área. Nesse período, foram criados convênios de capacitação, ofertados cursos especializados, implantadas bibliotecas e realizados eventos nacionais, além da participação na fundação da FBTS e da criação de grupos responsáveis por programas de qualificação e certificação (ABENDI, 1982).

Essas técnicas de END levam um tempo relativamente alto. No contexto industrial, a praticidade, velocidade e assertividade são fatores que devem andar lado a lado, além da crescente complexidade e escalada dos projetos modernos que exigem processos de inspeção mais rápidos e rigorosos (CAWLEY,2001).Em outro âmbito, existe a busca humana pela criação de máquinas com tentativas de suprir limitações ou facilitar a execução de determinadas tarefas (TURING,1950). Ao decorrer da história, tecnologias foram desenvolvidas para ampliar a capacidade física e operacional do ser humano, permitindo a realização de atividades de maneira mais eficiente, surgindo dentro deste contexto tecnologias com a capacidade de simular processos associados à inteligência humana, como o pensamento e o aprendizado Um dos principais nomes envolvidos na idealização de tecnologias com pensamentos foi Alan Turing (TURING,1950), que propôs a reflexão sobre a possibilidade de máquinas pensarem em seu artigo "Computing Machinery and Intelligence", Turing introduziu um experimento que viria a ser conhecido como Teste de Turing, cujo objetivo era avaliar se uma máquina poderia imitar o comportamento humano em uma conversa sem que o interlocutor percebesse que se tratava de um sistema artificial.

Mesmo com os muitos estudos envolta do assunto, a expansão significativa da Inteligência Artificial veio a ocorrer, principalmente, a partir da década de 2010, impulsionada pelo desenvolvimento do machine learning, das redes neurais profundas e pelo grande avanço da capacidade tecnológica e da disponibilidade de dados. Em pleno Séc. XXI, a tecnologia tornou-se o principal precursor das evoluções da indústria, sendo responsável por promover mudanças na indústria e na sociedade em geral. Por meio desses avanços a necessidade de informações em grande escala torna-se cada vez mais crescente. A integração da inteligência artificial (IA) aos ensaios não destrutivos representa um avanço promissor para o setor industrial, potencializando a eficiência e a precisão dos processos de ensaio. A utilização da inteligência artificial (IA) na detecção e identificação de defeitos e descontinuidade na peça vem sendo apontado por diversas pesquisas com uma tendência muito promissora. (Using Deep Learning to Detect Defects in Manufacturing: A Comprehensive Survey and Current Challenges, 2020) Técnicas de aprendizagem de máquinas têm sido aplicadas com o objetivo de desenvolver sistemas capazes de automatizar a identificação de falhas na fabricação ou na operação, colaborando para a melhoria da qualidade das inspeções por ensaios não destrutivos (END). Essa interação tem mostrado avanços relevantes, evidenciando o grande potencial dessa junção. Este Artigo irá apresentar uma revisão dos ensaios não destrutivos (END), abordando sua história, aplicações, benefícios e limitações em cada contexto. E depois será discutido a integração da inteligência artificial (IA) nesse campo e indicaremos as perspectivas futuras a partir da interação entre essas duas áreas.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se por adotar uma abordagem qualitativa, de natureza exploratória e descritiva, sendo desenvolvida por meio de uma revisão bibliográfica acerca da aplicação da Inteligência Artificial (IA) nos Ensaios Não Destrutivos (END). Esse tipo de abordagem permite uma visão mais ampla e aprofundada do tema que será abordado. O levantamento dos dados foi realizado a partir da análise de artigos científicos, Trabalhos de Conclusão de Curso, dissertações e outros materiais acadêmicos relevantes ao tema, selecionados com base em critérios de relevância, atualidade e confiabilidade das fontes. As buscas bibliográficas foram efetuadas em bases de dados científicas, como Google Acadêmico, SciELO, Periódicos CAPES e repositórios institucionais de universidades, utilizando como descritores os termos “Ensaios Não Destrutivos”, “END”, “Inteligência

Artificial”, “Machine Learning”, “Deep Learning” e “Visão Computacional”, tanto em língua portuguesa quanto inglesa, a fim de ampliar o alcance e aumentar a diversidade de informações encontradas. Como critérios de inclusão, foram considerados trabalhos publicados dentro de um recorte temporal de 2013 a 2025 previamente definido, que abordassem diretamente a integração entre END e Inteligência Artificial, com fundamentação teórica consistente. Foram excluídos da análise estudos duplicados, trabalhos fora do escopo da pesquisa e materiais sem validação científica.

Após a etapa de seleção, os trabalhos foram analisados de forma sistemática e crítica, buscando-se identificar os principais métodos de Ensaios Não Destrutivos associados à Inteligência Artificial, as técnicas computacionais mais empregadas, bem como os benefícios, limitações e desafios da aplicação dessas tecnologias. A partir dessa análise, os dados foram organizados e comparados, possibilitando a construção de uma visão abrangente sobre o estado atual das pesquisas relacionadas à aplicação da Inteligência Artificial nos Ensaios Não Destrutivos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaios não destrutivos (END) são utilizados na obtenção das propriedades físicas e mecânicas dos materiais, componentes ou conjuntos, sem interferir na integridade estrutural desses materiais (HELAL; SOFI; MENDIS, 2015). De acordo com o International Journal of Scientific & Engineering Research (2013), os END possibilitam a análise de propriedades internas e superficiais de sólidos, permitindo prever o comportamento do material, identificar falhas e determinar características estruturais sem provocar alterações permanentes. Esse tipo de inspeção tornou-se essencial em setores industriais e não industriais que exigem altos padrões de segurança e confiabilidade, como aeronáutica, petróleo e gás, transporte, metalurgia, construção civil e manutenção de patrimônio.

Com o avanço da tecnologia e o aumento das exigências de qualidade e segurança, os Ensaios Não Destrutivos (END) foram amplamente desenvolvidos, incorporando sistemas eletrônicos de alta precisão, sensores modernos e metodologias quantitativas cada vez mais robustas. Segundo Oliveira (UFPB, 2018), os END são fundamentais “na inspeção de materiais e equipamentos sem danificá-los, sendo executados nas etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção” (OLIVEIRA, 2018, p. X). Dentre os métodos consagrados, destacam-se técnicas como ultrassom, correntes parasitas (eddy current), termografia infravermelha, emissão acústica, radiografia industrial e métodos

eletromagnéticos, aplicados de forma combinada para detectar trincas, delaminações, corrosão, heterogeneidades microestruturais e defeitos subsuperficiais (ABENDI, 2020 apud LIMA MARINHO, 2025).

A literatura recente evidencia que a inspeção ultrassônica é uma das técnicas mais amplamente utilizadas devido à sua alta sensibilidade e versatilidade, sendo aplicada na avaliação de compósitos, soldas e estruturas metálicas, além de possibilitar a análise de espessura e identificação de descontinuidades ocultas (ARAÚJO, 2023 apud LIMA MARINHO, 2025).

A termografia infravermelha tem recebido crescente atenção em pesquisas contemporâneas, sobretudo quando integrada a algoritmos de Machine Learning, permitindo uma interpretação mais eficiente de grandes conjuntos de dados térmicos. Como destacado por Peng, Addepalli e Farsi (2025), “técnicas de termografia, como termografia pulsada e laser, tornaram-se ferramentas valiosas para complementar métodos tradicionais de END em materiais avançados, com ML acelerando a detecção automática e classificação de defeitos” (PENG; ADDEPALLI; FARSI, 2025)

Outros estudos também ressaltam que métodos híbridos e multimodais — por exemplo, a fusão de sensores ultrassônicos com correntes parasitas e de visão computacional — podem superar limitações de uma técnica isolada, melhorando a acurácia de detecção em superfícies complexas ou em ambientes industriais desafiadores (ZHANG et al., 2025).

Os END evoluíram não apenas em função da necessidade de reduzir falhas catastróficas, mas também pela demanda crescente por análises rápidas, reprodutíveis e precisas. Estudos apontam que diversos fatores podem comprometer a confiabilidade dos testes, entre eles a interferência humana, a configuração inadequada dos equipamentos, a interpretação subjetiva e variações ambientais. Dessa forma, a literatura enfatiza que a simples utilização de técnicas tradicionais não é mais suficiente para atender às demandas industriais modernas, uma vez que a complexidade das estruturas contemporâneas requer análises mais robustas, padronizadas e automatizadas.

3.1 AVANÇOS TECNOLÓGICOS E AUTOMAÇÃO DOS END

O avanço tecnológico e a crescente demanda por confiabilidade, segurança e eficiência nos processos industriais impulsionaram a evolução dos Ensaios Não Destrutivos (END), especialmente no quesito que se refere à automação e à incorporação de sistemas inteligentes desses processos. Tradicionalmente dependentes da interpretação humana, os END passaram a integrar sensores digitais, sistemas computacionais avançados e algoritmos de processamento de sinais, proporcionando maior

precisão, repetibilidade e redução da subjetividade nas inspeções, assim, deixando o processo mais confiável e rápido. De acordo com Oliveira (2018), a modernização dos END tornou-se essencial para atender aos padrões de qualidade exigidos pelos setores industrial, aeronáutico, petroquímico e da construção civil.

Entre os principais avanços tecnológicos, destaca-se a evolução dos métodos ultrassônicos, como o ultrassom phased array (PAUT) e o Time of Flight Diffraction (TOFD), que possibilitam a geração de imagens detalhadas e inspeções automatizadas com maior cobertura e confiabilidade. Estudos recentes apontam que esses sistemas permitem a integração com softwares inteligentes, capazes de realizar a aquisição e interpretação automática dos dados, reduzindo significativamente o tempo de inspeção e a dependência do operador, deixando o processo mais rápido (BARROS FILHO, 2018). Essas tecnologias têm sido amplamente aplicadas na inspeção de soldas, dutos e estruturas críticas, sobretudo na indústria de óleo e gás. Tornando esses processos mais ágeis e confiáveis, especialmente em setores que exigem níveis mínimos de falhas. (Zhu, H. 2024)

A Figura 1 da próxima página demonstra as anomalias reconhecidas por este tipo de tecnologias apresentada no artigo de Zhu, H

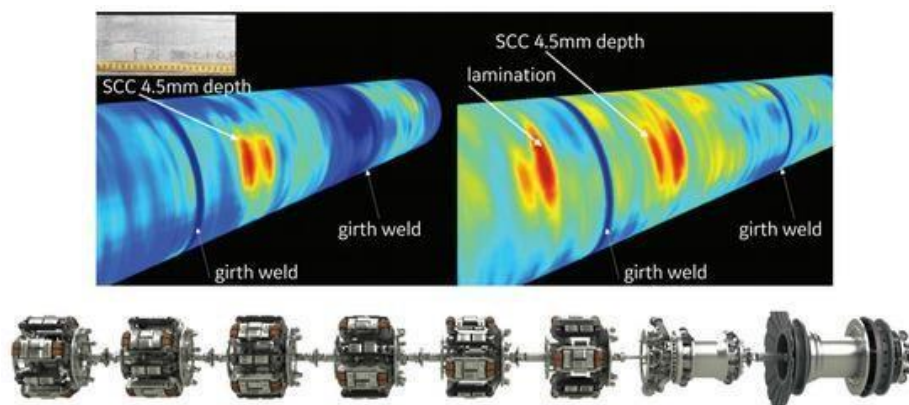


Figura 1 do artigo de Zhu, H. lançado em 2024

A automação dos END também tem avançado por meio da integração com inteligência artificial, aprendizado de máquina e visão computacional, possibilitando a detecção automática e classificação de defeitos. Segundo Zhang et al. (2025), algoritmos de deep learning têm demonstrado elevado desempenho na análise de imagens e sinais provenientes de técnicas como termografia infravermelha e radiografia industrial, permitindo identificar padrões complexos associados a falhas estruturais. Essas abordagens reduzem erros humanos e aumentam a confiabilidade das decisões, especialmente em inspeções de grande escala.

Outro aspecto relevante dos avanços tecnológicos nos END é a aplicação de sistemas robóticos e plataformas autônomas, como robôs terrestres e veículos aéreos não tripulados (drones), equipados com sensores de inspeção. Essas soluções automatizadas possibilitam a realização de ensaios em ambientes de difícil acesso ou de alto risco, como estruturas elevadas, tanques pressurizados e instalações offshore. De acordo com revisões recentes publicadas em revistas científicas internacionais, a combinação entre robótica e END tem se mostrado uma alternativa eficaz para aumentar a segurança operacional e a eficiência das inspeções

(ADVANCEMENTS IN SMART NONDESTRUCTIVE EVALUATION..., 2025).

A literatura científica aponta que a automação e os avanços tecnológicos nos END representam uma tendência promissora, alinhada aos conceitos da Indústria 4.0 e Inteligência Artificial (IA). A integração de END automatizados com sistemas de monitoramento contínuo, digital twins e análise preditiva permite não apenas a detecção de falhas, mas também a antecipação de possíveis danos estruturais ao longo do ciclo de vida dos componentes. Dessa forma, os END automatizados consolidam-se como ferramentas estratégicas para a manutenção preditiva, a redução de custos operacionais e o aumento da confiabilidade dos sistemas industriais (SILVA, 2021).

3.2 Aplicação da Inteligência Artificial nos END

A integração entre END e Inteligência Artificial representa um dos avanços mais relevantes da engenharia diagnóstica nas últimas décadas. A IA contribui diretamente para o processamento de sinais, a interpretação de imagens e a análise preditiva de degradação estrutural. Segundo o International Journal of Scientific & Engineering Research (2013), técnicas modernas de processamento digital já vinham sendo utilizadas para melhorar análises ultrassônicas e reduzir efeitos indesejados, como ruído e variações de acoplamento, indicando uma tendência natural de evolução para algoritmos mais complexos, como redes neurais e métodos de aprendizado estatístico.

No campo do processamento de sinais, modelos de aprendizagem de máquina (machine learning) têm sido aplicados à classificação de defeitos em soldas, detecção de porosidades, diferenciação de padrões microestruturais e reconhecimento automático de trincas internas. Esses modelos permitem separar sinais legítimos de ruído, identificar assinaturas específicas associadas a falhas e estimar, com maior precisão, o estado real do

componente analisado. Da mesma forma, na análise por imagens, algoritmos de visão computacional e redes neurais convolucionais (CNN) têm demonstrado desempenho superior na segmentação de defeitos térmicos, inspeção óptica de superfícies e detecção de descontinuidades em termografia infravermelha. Outro avanço significativo consiste na utilização de IA para manutenção preditiva. Com a integração entre sensores, sistemas IoT e algoritmos de séries temporais, tornou-se possível realizar monitoramento contínuo de estruturas, prever o surgimento de defeitos e estimar a vida útil remanescente de componentes críticos. Esse modelo de END preditivo apresenta benefícios substanciais, reduzindo custos, evitando paradas inesperadas e elevando a segurança operacional. Setores como ferrovias, aeronáutica e indústria petroquímica já demonstram interesse crescente na adoção desses sistemas.

3.3 END INTELIGENTES E PERSPECTIVAS FUTURAS

A literatura indica que o futuro dos Ensaios Não Destrutivos situa-se na convergência entre sensores avançados, processamento digital e Inteligência Artificial. Essa combinação prevê o desenvolvimento de END inteligentes (Smart NDT), capazes de executar inspeções autônomas, interpretar resultados em tempo real e ajustar modelos por meio de aprendizado contínuo. Tecnologias emergentes, como robôs de inspeção, drones equipados com câmeras térmicas e gêmeos digitais (digital twins), já começam a ganhar espaço em ambientes industriais complexos. Dessa forma, observa-se uma transição clara de sistemas analógicos e dependentes da interpretação humana para abordagens automatizadas e inteligentes, nas quais a IA desempenha papel central na detecção, classificação e previsão de falhas. Tal integração tende a redefinir a dinâmica da manutenção industrial, oferecendo diagnósticos mais precisos, maior rastreabilidade e significativa redução de incertezas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da crescente demanda por métodos de inspeção mais rápidos, precisos e econômicos, os Ensaio Não Destrutivos (END) vêm ganhando destaque em diversos setores industriais. A introdução da Inteligência Artificial (IA) nesse contexto representa uma oportunidade de automatizar e aprimorar o processo de análise, reduzindo falhas humanas e aumentando a confiabilidade dos resultados. Assim, este estudo teve como objetivo reunir e analisar informações relevantes sobre a aplicação da Inteligência Artificial em Ensaio Não Destrutivos, com base em literatura científica nacional e internacional para compreender a possibilidade de um aperfeiçoamento geral ou específico para os ensaios não destrutivos, resumir e compactar outras informações de END para assim apresentar conceitos básicos de ensaios e como a IA funcionaria em alguns deles e destacar ensaios que melhoram significativamente com o uso dela.

REFERÊNCIAS

Lima Marinho, Luiz José De Paiva. [Trecho Extraído Em Resumo]. Universidade Federal De Pernambuco, 2025 (Citação Indireta De Abendi, 2020).

Peng, Shaoyang; Addepalli, Sri; Farsi, Maryam. Machine Learning In Thermography Nondestructive Testing: A Systematic Review. Applied Sciences, V. 15, N. 17, 9624, 2025.

ZHU, H. ET AL. IN-LINE INSPECTION (ILI) TECHNIQUES FOR SUBSEA PIPELINES: STATE-OF-THE-ART. JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND ENGINEERING, V. 12, N. 3, P. 417, 2024.

Zhang, Xiuli Et Al. A Scoping Review: Applications Of Deep Learning In Non-destructive Building Tests. Electronics, V. 14, N. 6, 1124, 2025.

Cawley, P. Non-destructive Testing—current Capabilities And Future Directions. Journal Of Mechanical Engineering Science, London, V. 215, N. 3, P. 213–223, 2001. Disponível Em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/146442070121500403>. Acesso Em: 6 Fev. 2026.

Barros Filho, Genilton De França. Técnicas De Ensaio Não Destrutivos Aliadas À Inteligência Artificial Para Avaliação Da Integridade Estrutural De Equipamentos Offshore Da Indústria De Petróleo E Gás Natural. 2018. Trabalho De Conclusão De Curso (Graduação Em Engenharia) – Universidade Federal Da Paraíba, João Pessoa, 2018.

São Paulo (Município). Secretaria Municipal De Educação. Coordenadoria Pedagógica. Trilhas De Aprendizagens: Ensino Fundamental – 8º Ano – Volume 2. 2. Ed. São Paulo: Sme/Coped, 2021.

Oliveira, Damião Gomes. Ensaaios Não Destrutivos: Fundamentos E Aplicações. 2018. Trabalho De Conclusão De Curso (Graduação Em Engenharia) – Universidade Federal Da Paraíba, João Pessoa, 2018.

Diógenes, Aldecira Gadelha. Análise De Corrosão Em Armaduras De Concreto Armado Através De Ensaio Não Destrutivo Eletromagnético. 2021. Tese (Doutorado Em Engenharia E Ciência De Materiais) – Universidade Federal Do Ceará, Fortaleza, 2021.

Silva, Jedaías Januário Da. Estudo E Aplicações Dos Ensaaios Não Destrutivos No Meio Industrial. 2021. Trabalho De Conclusão De Curso (Graduação Em Engenharia) – Universidade Federal De Pernambuco, Recife, 2021.

Yang, Jing. Li Shaobo. Zheng Wang. Dong Hao. Wang, Jun. Tang, Shihao. Using Deep Learning To Detect Defects In Manufacturing: A Comprehensive Survey And Current Challenges, *Materials*, Basel, V. 13, N. 24, P. 5755, 2020.

Advancements In Smart Nondestructive Evaluation Of Industrial Machines: A Comprehensive Review. *Machines*, V. 13, N. 1, P. 11, 2025.

Buriche, Filipe Bernardo. Ensaaios Não Destrutivos Aplicados Na Indústria. Projeto Final De Engenharia De Produção – Universidade Anhembi Morumbi, Niterói, 2023.

Taheri, H.; Bocanegra, M. G.; Taheri, M. *Artificial Intelligence, Machine Learning And Smart Technologies For Nondestructive Evaluation*. *Sensors*, V. 22, N. 11, P. 4055, 2022. Doi: 10.3390/S22114055.

American Society For Nondestructive Testing (Asnt). *Nondestructive Testing Glossary*. Columbus: Asnt, 2002. Disponível em: [Nondestructive Testing Glossary](#). Acesso Em: 23 Maio 2026

Turing, A. M. Computing Machinery And Intelligence. *Mind*, V. 59, N. 236, P. 433–460, 1950. Russell, Stuart; norvig, Peter. *artificial intelligence: a modern approach*. 4. ed. pearson, 2020.

HELLIER, Charles. *Handbook of Nondestructive Evaluation*. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2013.