

PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA EM GESTÃO DE ATIVOS E MANUTENÇÃO DE BENS

avanços e tendências de inovação no período de 2005 a 2025

Alan Souza da Silva¹

Universidade Federal de Alagoas
alansouzads@gmail.com

João Paulo Lima Santos²

Universidade Federal de Alagoas
joao.santos@ctec.ufal.br

Eliana Silva de Almeida³

Universidade Federal de Alagoas
eliana.almeida@gmail.com

Resumo

Este artigo realiza uma prospecção tecnológica sobre sistemas de gestão de ativos e manutenção de bens, abrangendo o período de 2005 a 2025. A pesquisa adotou abordagem qualitativa, exploratória, de natureza bibliográfica e documental, fundamentando-se na revisão de artigos científicos, livros, periódicos e no levantamento de patentes na base Questel Orbit. As buscas foram realizadas em bases consolidadas como SciELO, Google Acadêmico e Periódicos CAPES, utilizando-se de termos estratégicos para refinar os resultados. A análise revelou uma evolução gradual nas publicações acadêmicas sobre o tema, com destaque para o período recente, impulsionado pela Indústria 4.0 e pela transformação digital. Identificaram-se 17 artigos relevantes e 8 depósitos de patentes, com predominância de tecnologias voltadas à automação, TI e sustentabilidade. O Brasil destacou-se como principal país de proteção patentária neste tema, seguido por nações com tradição em inovação. Os dados indicam um avanço consistente de soluções digitais inteligentes voltadas à modernização da gestão de ativos e à eficiência nos processos de manutenção.

Palavras-Chave: manutenção de bens; gestão ativos; inovação tecnológica.

TECHNOLOGICAL PROSPECTING IN ASSET MANAGEMENT AND ASSET MAINTENANCE

advances and innovation trends from 2005 to 2025

Abstract

This article conducts a technological prospecting study on asset management and maintenance systems, covering the period from 2005 to 2025. The research adopted a qualitative, exploratory approach, with a bibliographic and documentary nature, based on the review of scientific articles, books, journals, and a patent survey using the Questel Orbit database. Searches were carried out in well-established databases such as SciELO, Google Scholar, and CAPES Journals, using strategic terms to refine the results. The analysis revealed a gradual evolution in academic publications on the topic, with particular growth in recent years, driven by Industry 4.0 and digital transformation. A total of 17 relevant articles and 8 patent filings were identified, with a predominance of technologies focused on automation, IT, and sustainability. Brazil stood out as the main country for patent protection in this field, followed by nations with a strong tradition of innovation. The data indicate consistent

¹ Graduado em Ciências Contábeis

² Doutorado em Engenharia Civil

³ Doutorado em Informática



Esta obra está licenciada sob uma licença

Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

progress in intelligent digital solutions aimed at modernizing asset management and improving maintenance process efficiency.

Keywords: asset maintenance; asset management; technological innovation.

Prospección tecnológica en la gestión y mantenimiento de activos avances y tendencias de innovación de 2005 a 2025

Resumen

Este artículo realiza una prospección tecnológica sobre los sistemas de gestión de activos y mantenimiento de activos, cubriendo el período de 2005 a 2025. La investigación adoptó un enfoque cualitativo, exploratorio, de carácter bibliográfico y documental, basado en la revisión de artículos científicos, libros, publicaciones periódicas y el levantamiento de patentes en la base de datos Questel Orbit. Las búsquedas se realizaron en bases de datos consolidadas como SciELO, Google Scholar y Periódicos CAPES, utilizando términos estratégicos para refinar los resultados. El análisis reveló una evolución gradual en las publicaciones académicas sobre el tema, con énfasis en el período reciente, impulsado por la Industria 4.0 y la transformación digital. Se identificaron 17 artículos relevantes y 8 depósitos de patentes, con predominio de tecnologías enfocadas en automatización, TI y sustentabilidad. Brasil se destacó como el principal país en protección de patentes en esta área, seguido por naciones con tradición de innovación. Los datos indican un avance constante en soluciones digitales inteligentes orientadas a modernizar la gestión de activos y la eficiencia en los procesos de mantenimiento.

Palabras Clave: mantenimiento de activos; gestión de activos; innovación tecnológica.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a relação entre ciência, tecnologia e inovação tem se intensificado, moldando um cenário no qual a produção científica assume um papel central na transformação dos processos produtivos, organizacionais e sociais. A geração de conhecimento, por meio da pesquisa acadêmica, não apenas subsidia o desenvolvimento de novas tecnologias, como também é constantemente influenciada por elas, estabelecendo um ciclo dinâmico de retroalimentação que impulsiona o progresso em diversas áreas do saber (Sharma; Singh; Kumar, 2023; Lee; Lee, 2020).

Nesse contexto, destaca-se a manutenção de bens, compreendida como o conjunto de práticas voltadas à preservação, recuperação e gestão do desempenho de ativos físicos. Essa área tem se consolidado como estratégica para assegurar a confiabilidade, a disponibilidade e a sustentabilidade dos recursos em ambientes organizacionais cada vez mais complexos, integrados e digitalizados. A manutenção deixou de ser apenas um suporte operacional, assumindo um papel essencial na gestão do ciclo de vida dos ativos (Silva; Souza, 2020).

Com o advento da Indústria 4.0, novas possibilidades emergem para o gerenciamento inteligente de ativos, a partir da incorporação de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial, big data, *machine learning* e manutenção baseada em análise preditiva. Essas tecnologias possibilitam diagnósticos mais precisos, ações proativas e maior eficiência na tomada de decisões, promovendo uma ruptura com os modelos tradicionais de manutenção corretiva ou apenas preventiva. Nesse novo paradigma, ganham destaque as abordagens preditiva e prescritiva, baseadas em dados e orientadas para o desempenho contínuo dos ativos (Faria; Amaral; Santos, 2020; Khakurel et al., 2022).

Tanto a produção acadêmica quanto os depósitos de patentes configuram-se como instrumentos fundamentais para avaliar o grau de desenvolvimento e maturidade tecnológica no campo da manutenção. Enquanto a literatura científica revela tendências conceituais e metodológicas, os registros patentários indicam o nível de inovação tecnológica, a capacidade institucional e a atuação estratégica de países e organizações no mercado global. A análise combinada desses domínios possibilita compreender a evolução histórica e tecnológica dos sistemas de manutenção de bens e sua relação com os esforços de inovação, especialmente nos setores industrial, logístico, de infraestrutura e serviços públicos (Rauen; Ferraz; Simões, 2017).

Diante desse panorama, este artigo tem como objetivo analisar a produção científica e tecnológica relacionada aos sistemas de manutenção de bens no período de 2005 a 2025, com base em dados obtidos na base de periódicos da CAPES e nos registros de patentes nacionais e

internacionais, especialmente por meio da plataforma Questel Orbit. A pesquisa busca identificar tendências, lacunas e padrões de evolução tanto nas publicações acadêmicas quanto nos depósitos de patentes, mapeando as áreas tecnológicas mais recorrentes, os países com maior concentração de proteção intelectual e os principais cessionários envolvidos.

Adicionalmente, este estudo busca compreender de que forma as inovações tecnológicas estão sendo apropriadas, adaptadas e institucionalizadas nas rotinas de manutenção de bens, considerando tanto os aspectos operacionais quanto os normativos. Essa análise permite identificar como essas transformações influenciam diretamente as políticas de gestão de ativos, promovendo maior sustentabilidade operacional, aumento da eficiência dos processos e fortalecimento da competitividade organizacional. Ao integrar as dimensões científica e tecnológica, o trabalho pretende contribuir para a consolidação da manutenção de bens como um campo estratégico, alinhado aos princípios da inovação contínua, à digitalização de processos produtivos e administrativos, bem como à valorização e proteção da propriedade intelectual como ativo intangível essencial.

4

2 METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido por meio de uma pesquisa de natureza bibliográfica e documental, fundamentada na análise de livros, artigos científicos, periódicos especializados e no levantamento prospectivo de dados patentários. A busca por publicações relevantes e pertinentes ao tema foi efetuada por meio das plataformas SciELO, Google Acadêmico e Periódicos CAPES, selecionadas em função de sua representatividade e abrangência no campo científico.

A análise documental, conforme as orientações metodológicas propostas por GIL (2010) e por Marconi e Lakatos (2014), envolve a consulta a documentos produzidos com distintas finalidades, tendo como objetivo a condensação e reorganização do conteúdo para fins de investigação científica. Cavalcanti e Silva (2011) complementam essa perspectiva ao afirmarem que a revisão da literatura é uma etapa essencial da pesquisa, pois contribui para a consolidação do conhecimento existente e para a formulação de novas abordagens, a partir da análise integrada de diferentes estudos.

A metodologia adotada teve uma abordagem qualitativa e exploratória, visando à compreensão aprofundada do tema em análise, com atenção às suas especificidades contextuais. Para a seleção dos artigos científicos, inicialmente foram avaliados os títulos, seguidos pela leitura dos resumos e das palavras-chave. Entre os termos analisados, destacam-se:

“manutenção de bens”, “gestão de ativos” e “inovação tecnológica”. Após essa etapa, optou-se por refinar a busca utilizando apenas os termos “manutenção de bens” e “gestão de ativos”, considerando que estes apresentavam maior aderência aos objetivos do estudo. Em seguida, foi realizada uma busca combinada com o operador booleano “AND”, utilizando os termos “manutenção de bens AND móveis”, a fim de refinar ainda mais os resultados obtidos.

O levantamento prospectivo de patentes foi conduzido na base Questel Orbit, utilizando como palavra-chave “manutenção de bens”. O objetivo foi identificar tecnologias com registros de propriedade industrial relacionadas ao tema investigado, permitindo mapear inovações e tendências no campo da manutenção e gestão de ativos.

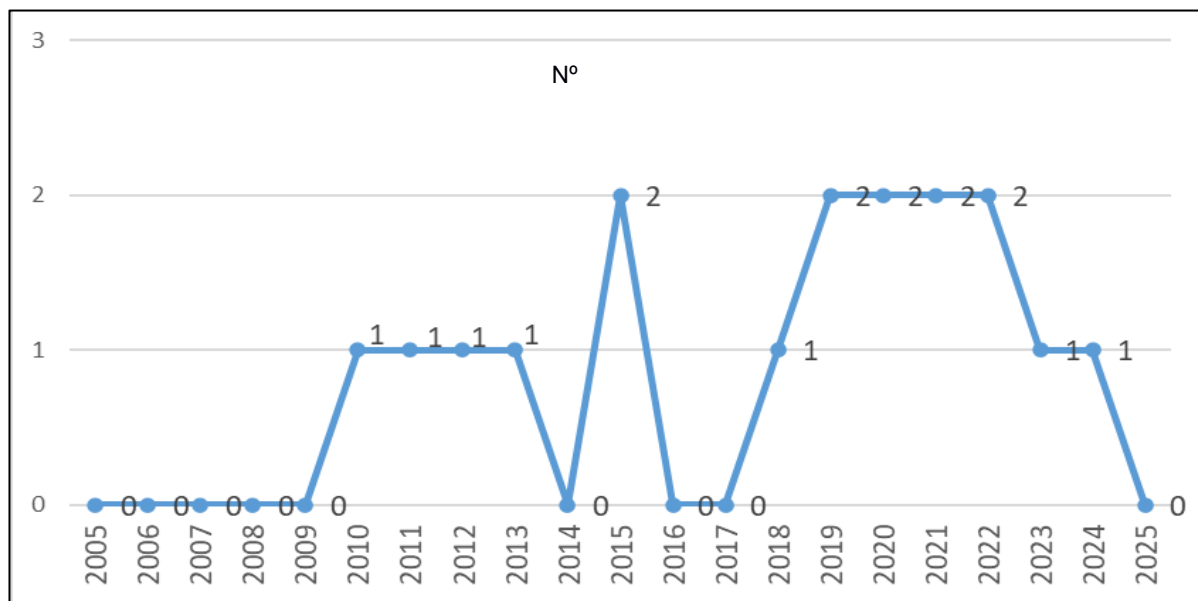
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA SOBRE MANUTENÇÃO DE BENS

A produção científica exerce um papel essencial no avanço tecnológico, estabelecendo uma relação de interdependência entre ciência e tecnologia. A pesquisa científica frequentemente serve como base para inovações tecnológicas, ao mesmo tempo em que o desenvolvimento de novas tecnologias amplia as possibilidades e métodos de investigação científica. Nesse contexto, a publicação de artigos científicos representa um dos principais mecanismos de validação e disseminação do conhecimento, contribuindo diretamente para a consolidação de descobertas e o estímulo a novas aplicações práticas. Dessa forma, observa-se que um maior volume de publicações científicas tende a estar correlacionado com o crescimento do progresso tecnológico, tanto em termos qualitativos quanto quantitativos. Como destacam Meyer e Tang (2007), a atividade científica e tecnológica não apenas se alimentam mutuamente, mas também compartilham estruturas institucionais e fluxos de conhecimento que fortalecem a inovação.

Ao analisar a evolução das publicações científicas ao longo dos últimos 20 anos na base de periódicos da CAPES, foram identificados 17 (dezessete) artigos relacionados ao tema "sistemas de manutenção de bens", conforme ilustrado no Gráfico 01.

Gráfico 1 - Evolução dos artigos publicados no período de 20 anos



Fonte: Elaborado pelo autor do artigo através do Portal de Periódico da CAPES (2025).

A série histórica revela uma evolução gradual no interesse acadêmico pelo tema. No quinquênio inicial (2005–2009), não foram registradas publicações, possivelmente em função da baixa maturidade do campo ou da limitada visibilidade da temática de manutenção de bens na agenda científica.

A partir de 2010, observa-se o surgimento de publicações de forma incipiente, com registro de um artigo por ano até 2013, indicando a fase inicial de consolidação do tema, possivelmente impulsionada pela crescente valorização da gestão de ativos e pela busca por eficiência operacional em setores industriais.

Em 2014, observa-se uma interrupção pontual nas publicações. Contudo, após essa interrupção, o número de publicações volta a crescer pontualmente, com destaque para os anos de 2015, 2019, 2020, 2021 e 2022, todos com dois artigos publicados. Esse aumento, embora ainda modesto em termos quantitativos, sinaliza uma intensificação do interesse acadêmico pelo tema, especialmente nos anos mais recentes. Este movimento pode estar relacionado à difusão dos conceitos da Indústria 4.0, da transformação digital e da manutenção preditiva, que têm elevado a importância estratégica da manutenção de bens dentro das organizações (Tidd; Bessant; Pavitt, 2008; Brynjolfsson; McAfee, 2014).

Entre 2016 e 2018, observa-se certa oscilação, com anos sem publicações intercalados por anos com um ou dois artigos. A partir de 2019, porém, a produção se mantém relativamente estável até 2024, com uma média de aproximadamente 1,6 artigos por ano. Esse comportamento pode indicar uma consolidação do tema no meio acadêmico, especialmente à medida que as

tecnologias digitais se tornam mais acessíveis e a integração entre manutenção, dados e sustentabilidade passa a fazer parte das agendas institucionais e industriais (Sharma; Singh; Kumar, 2023; Silva; Souza, 2020).

O ano de 2025, até o momento, não apresenta publicações registradas, o que pode estar relacionado à defasagem natural dos indexadores acadêmicos ou ao fato de ainda estarmos no início do ano. Em suma, a análise revela uma trajetória de crescimento progressivo na produção científica sobre manutenção de bens, com ênfase recente em abordagens interdisciplinares e alinhadas às transformações tecnológicas contemporâneas.

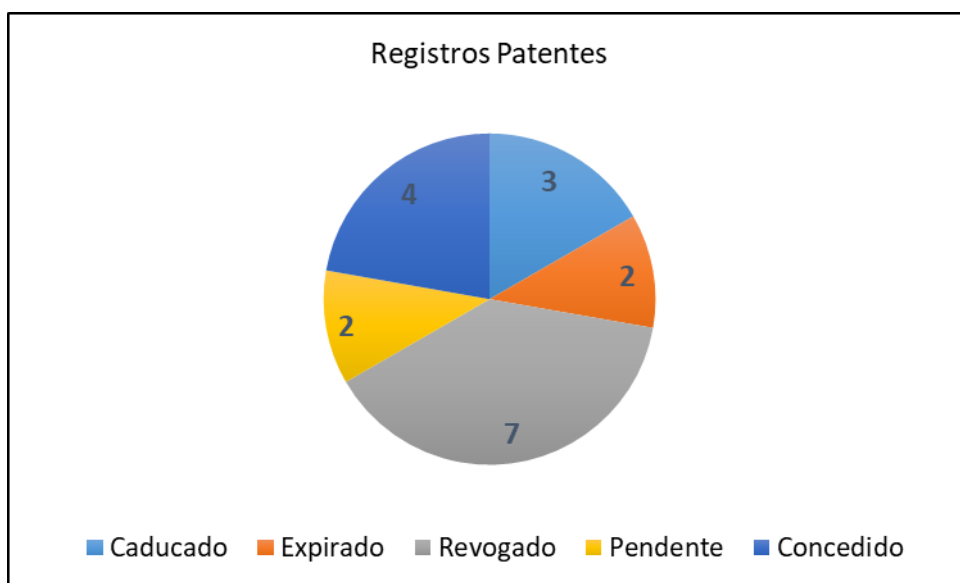
3.2 ANÁLISE DA SITUAÇÃO LEGAL DOS DEPÓSITOS DE PATENTES

Outro eixo de análise neste estudo se refere ao levantamento dos números de depósitos e registros patentários de tecnologias voltadas aos sistemas de manutenção de bens, que permite uma visão abrangente de inovação por países de proteção e por campo tecnológico.

Com relação à situação legal dessas patentes, conforme ilustrado no Gráfico 02, é possível identificar aspectos relevantes sobre a trajetória, estratégia e atualidade da proteção intelectual dessas tecnologias.

7

Gráfico 2 - Situação legal das patentes.



Fonte: Elaborado pelo autor do artigo através da Base ORBIT QUESTEL, 2025

Entre os 10 (dez) principais depositantes, no período de 2005 a 2025, observou-se que o maior número de ocorrências está na categoria "Revogado", com sete registros. Isso indica que essas patentes perderam sua validade por decisão administrativa ou judicial, possivelmente por falta de pagamento de anuidades, não cumprimento de exigências legais ou oposição de

terceiros. Esse elevado número de patentes revogadas sugere uma possível fragilidade na sustentação jurídica das proteções ou, alternativamente, mudanças estratégicas por parte dos titulares em relação ao interesse de manter ativos seus direitos de propriedade intelectual.

A categoria "Caducado", com três registros, também aponta para o abandono da proteção, que ocorre normalmente por não pagamento de taxas dentro dos prazos estabelecidos. Já duas patentes "Expiradas" refletem casos em que o período máximo de proteção legal (normalmente 20 anos para patentes de invenção) foi atingido, sinalizando tecnologias mais antigas ou cujo ciclo de vida foi concluído.

Ainda assim, o dado de quatro patentes concedidas mostra que uma parte do portfólio alcançou o status legal de proteção plena, estando apta a garantir exclusividade de exploração ao titular. As duas patentes pendentes indicam que ainda há processos em análise nos escritórios de patentes, refletindo inovação mais recente ou processos em trâmite nos respectivos países.

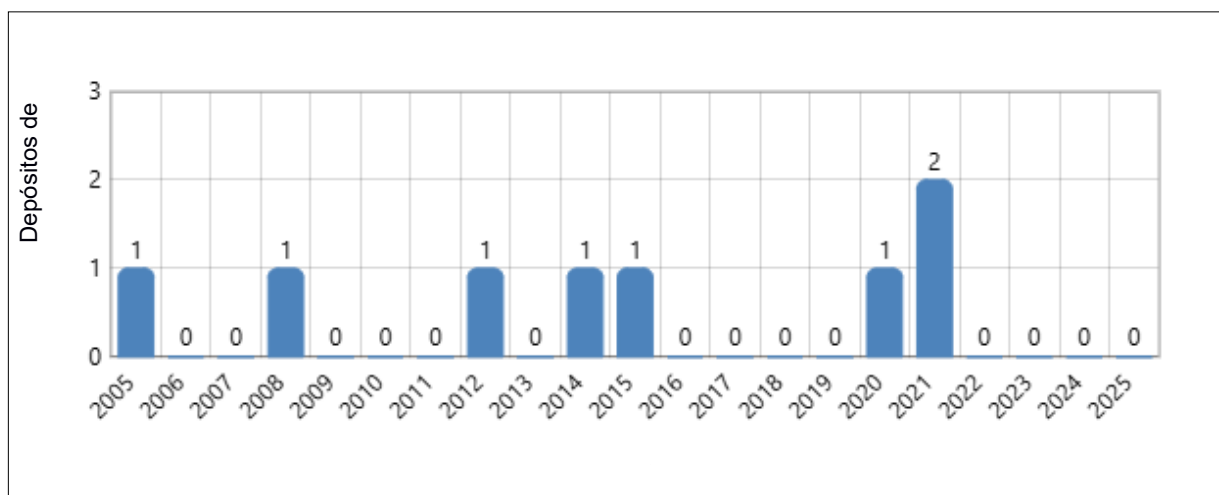
De forma geral, observa-se que a maioria das patentes analisadas encontra-se inativa (revogada, caducada ou expirada), o que pode indicar um ciclo de proteção que está se encerrando, uma reavaliação estratégica por parte do titular, ou ainda dificuldades em manter o portfólio ativo. O número relativamente pequeno de patentes concedidas e pendentes aponta para um momento de transição ou renovação tecnológica, em que parte do conhecimento já protegido está sendo substituído ou revisto.

8

3.3 EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS DEPÓSITOS DE PATENTES

A evolução dos depósitos de patentes ao longo do período estudado é apresentada no Gráfico 03.

Gráfico 3 - Primeiro ano de depósito das famílias de patentes.



Fonte: Elaborado pelo autor do artigo através da Base ORBIT QUESTEL, 2025.

A análise dos depósitos de patentes relacionados a sistemas de manutenção de bens, no período compreendido entre 2005 e 2025, revela um panorama de baixa intensidade inovativa e uma significativa dispersão temporal. Ao longo desses 21 anos, foram registrados apenas 8 (oito) depósitos, distribuídos de forma esparsa, o que indica uma ausência de constância no esforço de proteção tecnológica nessa área específica.

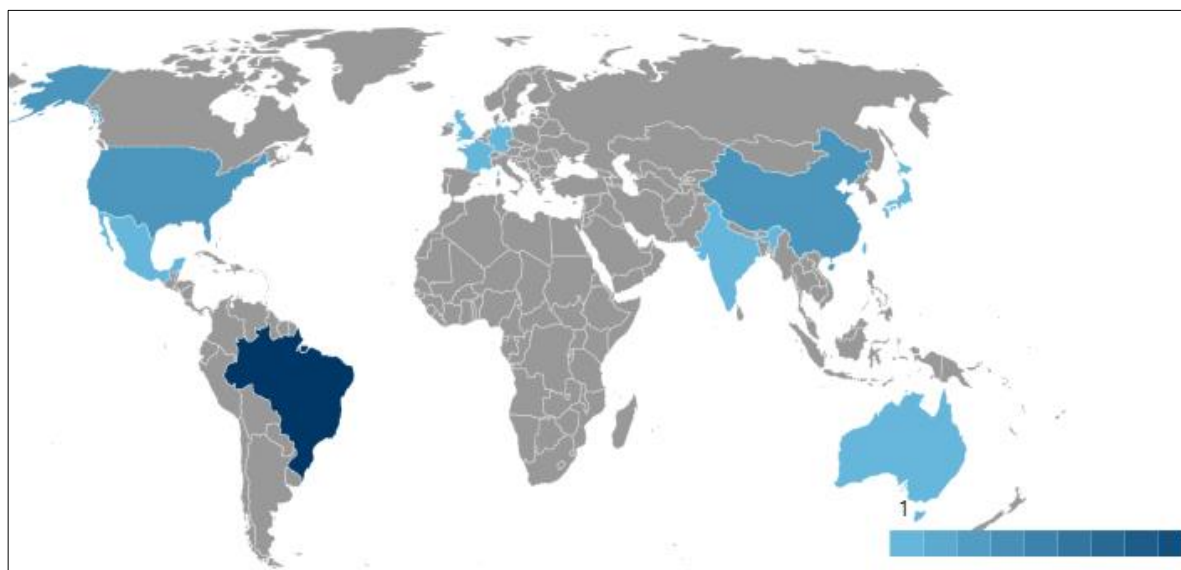
Observa-se que os depósitos ocorreram nos anos de 2005, 2008, 2012, 2014, 2015, 2020 e 2021, sendo este último o único ano com dois registros. A partir de 2022, não foram identificados novos depósitos até o presente momento, ano de 2025, o que pode sinalizar uma estagnação nas iniciativas de inovação tecnológica formalmente protegidas por meio de patentes nesse domínio.

Esse comportamento pode ser interpretado como reflexo de diversos fatores, como o baixo investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D), a complexidade do processo de patenteamento, ou mesmo a preferência por outras formas de apropriação do conhecimento tecnológico, como o segredo industrial. Além disso, é possível que os avanços relacionados à manutenção de bens estejam sendo incorporados a tecnologias mais amplas e registradas sob outras classificações que não as diretamente associadas ao tema.

A ausência de uma trajetória crescente ou mesmo estável nos depósitos sugere desafios estruturais para o fortalecimento da cultura de inovação nesse setor. Tal cenário destaca a importância de políticas públicas e estratégias empresariais voltadas à valorização da propriedade intelectual como instrumento de competitividade e sustentabilidade tecnológica no longo prazo.

3.4 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DAS FAMÍLIAS DE PATENTES

A análise da distribuição geográfica das famílias de patentes relacionadas a sistemas de manutenção de bens, conforme demonstrado na Figura 01, evidencia uma clara predominância do Brasil, que concentra cinco registros, destacando-se como o país com maior número de proteções nesse domínio.

Figura 1 - Famílias de patentes por país de proteção.

Fonte: Elaborado pelo autor do artigo através da Base ORBIT QUESTEL, 2025

Considerando que quanto mais escuro estiver a cor azul, maior o número de famílias de patentes protegidas relacionadas a sistemas de manutenção de bens naquela localidade, o resultado pode refletir uma estratégia voltada à valorização e proteção da inovação nacional, além de indicar a existência de um ambiente propício ao desenvolvimento de soluções voltadas à manutenção em setores industriais e infraestruturais. A presença do Brasil como principal território de proteção sugere também uma tentativa de fortalecimento tecnológico e competitivo no mercado interno.

Na sequência, os Estados Unidos, o Canadá e a Espanha aparecem com 2 (duas) famílias de patentes cada. No caso dos Estados Unidos, esse posicionamento é coerente com seu papel central no cenário global de inovação tecnológica e proteção de propriedade intelectual, especialmente em áreas relacionadas à automação, manutenção e gestão de ativos. A inclusão do Canadá e da Espanha na estratégia de proteção demonstra o interesse dos depositantes em alcançar mercados específicos, possivelmente por oportunidades comerciais ou vínculos institucionais.

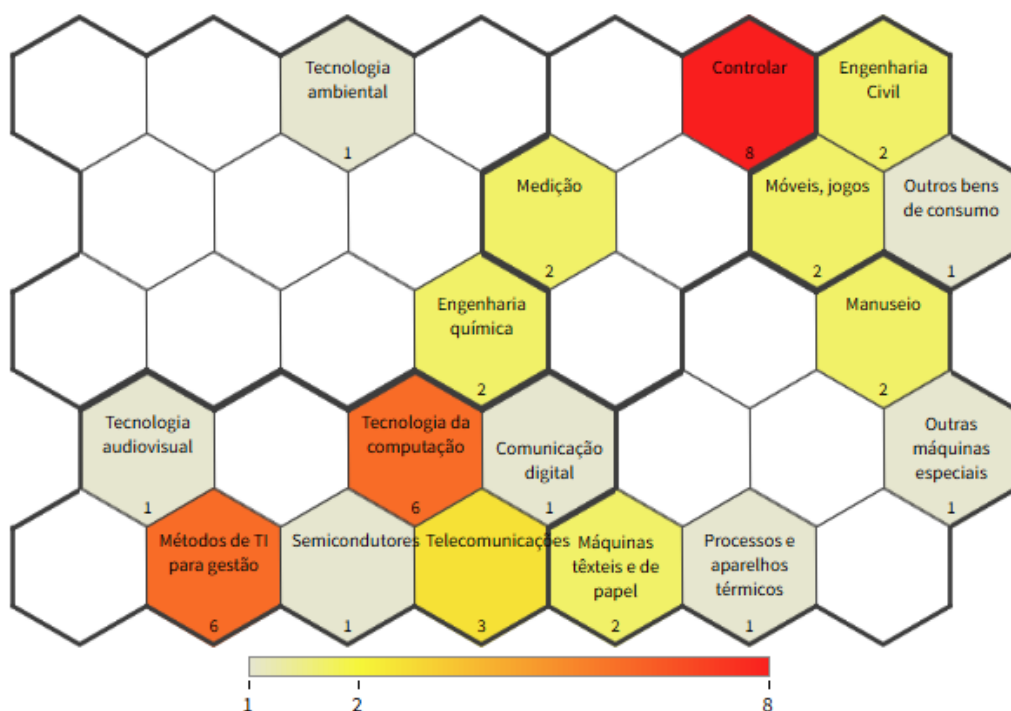
Outros países, como Austrália, Alemanha, França, Reino Unido, Índia, Japão, México e Taiwan, apresentam 1 (uma) família de patente cada. Apesar do número reduzido, a proteção nesses países indica uma estratégia seletiva de internacionalização da propriedade intelectual, voltada à presença em mercados tecnologicamente relevantes. É importante destacar que países como Alemanha, Japão e Reino Unido são reconhecidos internacionalmente por seu ambiente de inovação consolidado, o que torna sua escolha especialmente estratégica.

Essa distribuição geográfica reflete uma abordagem de patenteamento que equilibra o alcance global com a viabilidade econômica da proteção, considerando fatores como o potencial de comercialização, a complexidade regulatória e a competitividade tecnológica local. As decisões de extensão territorial de patentes estão fortemente associadas às expectativas de retorno econômico e à importância estratégica de determinados mercados para o titular da tecnologia (Guellec; Van Pottelsberghe De La Potterie, 2007).

3.5 DOMÍNIO TECNOLÓGICO ENTRE OS MAIORES CESSIONÁRIOS

Já no que diz respeito ao domínio da tecnologia espalhado nos países, entre os 10 maiores cessionários, conforme apresentado na Figura 02, a análise dos dados evidencia uma expressiva concentração nas áreas de controle, tecnologia da computação e métodos de TI para gestão, que, somadas, representam aproximadamente 61% dos registros.

Figura 2 - Domínio da tecnologia pelos 10 maiores cessionários.



Fonte: Elaborado pelo autor deste artigo através da Base ORBIT QUESTEL, 2025

A predominância nas áreas de controle, tecnologia da computação e métodos de TI para gestão, revela uma clara orientação das inovações tecnológicas voltadas à automação, digitalização e integração de sistemas de manutenção com soluções computacionais. A

liderança da área de controle indica o avanço no desenvolvimento de sistemas automatizados e inteligentes, enquanto os registros em computação e tecnologias da informação sugerem o uso crescente de infraestruturas digitais, softwares e plataformas de gerenciamento remoto de ativos, compatíveis com os princípios da Indústria 4.0.

Outras áreas, como telecomunicações, medição e manipulação, embora com menor frequência, apresentam papel complementar essencial. Essas tecnologias constituem a base para a conectividade, o monitoramento em tempo real e a atuação sobre os ativos físicos, especialmente em ambientes industriais, logísticos ou de difícil acesso. Tais aspectos estão alinhados com a tendência contemporânea de sistemas ciberfísicos e sensorização distribuída (Kagermann et al., 2013).

Além disso, domínios como engenharia civil, semicondutores, bens de consumo e mobiliário também aparecem no conjunto de patentes, ainda que em menor número. Isso indica que, apesar do foco central em soluções digitais, as tecnologias desenvolvidas possuem aplicações transversais e interdisciplinares, abrangendo desde a manutenção predial até a de dispositivos eletrônicos e produtos do cotidiano (Chesbrough; Rosenbloom, 2002).

Ao relacionar essa distribuição tecnológica com os países previamente analisados, é possível identificar uma correspondência entre as áreas tecnológicas protegidas e os perfis de especialização nacional. Países como Alemanha e Japão, historicamente reconhecidos por sua competência em engenharia de precisão e automação, tendem a concentrar seus depósitos nas áreas de controle e manipulação. Por outro lado, Estados Unidos, Reino Unido e Canadá, com forte presença em setores de tecnologia da informação e serviços digitais, destacam-se nas áreas de TI, telecomunicações e computação. O Brasil, que apresentou o maior número de famílias de patentes no conjunto analisado, demonstra uma possível estratégia de consolidação interna nas áreas de gestão de ativos e automação, refletindo esforços de fortalecimento tecnológico local (Rauen; Ferraz; Simões, 2017).

3.6 CLASSIFICAÇÃO TECNOLÓGICA (CPC) E TENDÊNCIAS INOVADORAS

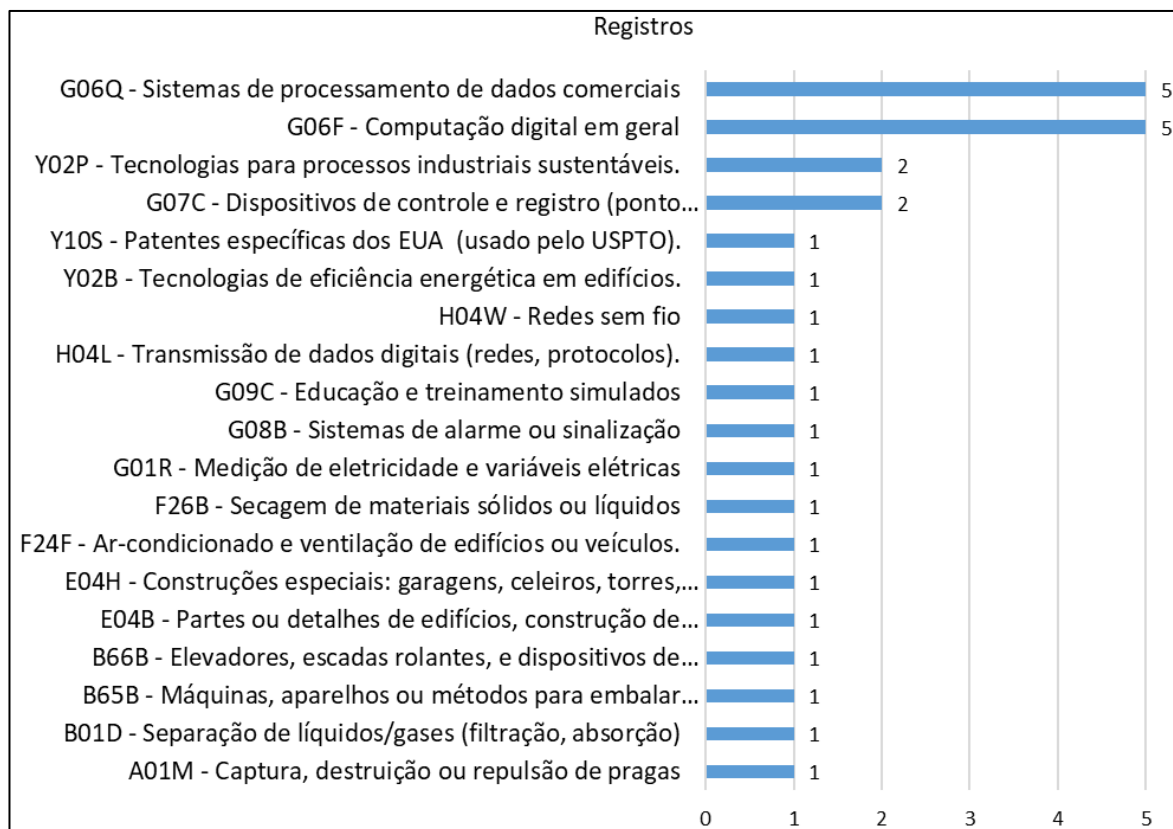
A Classificação Cooperativa de Patentes (CPC) constitui um sistema internacional padronizado, desenvolvido conjuntamente pelo Escritório Europeu de Patentes (EPO) e pelo Escritório de Patentes e Marcas dos Estados Unidos (USPTO), com o objetivo de categorizar tecnicamente os documentos de patentes, promovendo maior precisão na organização, busca e monitoramento de inovações em múltiplas áreas do conhecimento. Trata-se de uma ferramenta

estratégica que não apenas facilita o acesso à informação tecnológica, mas também permite identificar lacunas de pesquisa e oportunidades de desenvolvimento industrial.

No âmbito deste estudo, a análise dos códigos CPC atribuídos às patentes pertencentes aos principais cessionários, conforme apresentado no Gráfico 04, revela-se uma etapa fundamental para a compreensão da dinâmica inovativa no setor de manutenção de bens. Ao interpretar a distribuição e a frequência desses códigos, torna-se possível identificar com maior clareza os núcleos tecnológicos que concentram os esforços de pesquisa e desenvolvimento (P&D), bem como mapear as trajetórias emergentes de inovação que vêm moldando esse campo ao longo do tempo.

Essa abordagem também contribui para evidenciar padrões de especialização tecnológica entre países ou instituições, destacando os focos de desenvolvimento mais recorrentes, como soluções baseadas em computação, automação, sensoriamento remoto e sustentabilidade. Além disso, o uso sistemático da CPC permite associar tendências tecnológicas às transformações mais amplas da Indústria 4.0, como a digitalização dos processos industriais, a integração entre sistemas físicos e cibernéticos e a crescente relevância da inteligência artificial aplicada à gestão de ativos.

Gráfico 4 - CPC por Cessionário



Fonte: Elaborado pelo autor deste artigo através da Base ORBIT QUESTEL, 2025

Os dados apontam para uma forte convergência entre manutenção, tecnologias digitais e soluções sustentáveis, indicando um reposicionamento estratégico das organizações frente à Indústria 4.0 (Tidd; Bessant; Pavitt, 2008).

Entre os 18 códigos CPC identificados, os de maior frequência foram G06F – Computação digital em geral e G06Q – Sistemas de processamento de dados comerciais, ambos com cinco ocorrências. Essa concentração indica a centralidade das soluções computacionais na inovação voltada à manutenção de ativos, evidenciando a adoção de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), análise preditiva, aprendizado de máquina e gestão digital de ativos (Brynjolfsson; McAfee, 2014; Campbell; Jardine; McGlynn, 2016).

Dois outros códigos apresentaram duas ocorrências cada: G07C – Dispositivos de controle e registro, frequentemente ligados a sistemas de controle de acesso e monitoramento eletrônico, e Y02P – Tecnologias para processos industriais sustentáveis, que representa a crescente preocupação com a eficiência energética e a sustentabilidade dos processos produtivos. Tais achados corroboram o papel estratégico da gestão de ativos integrada à sustentabilidade ambiental, conforme apontado por Silva e Souza (2020).

A diversidade tecnológica também se expressa na distribuição dos outros 14 códigos, cada um com uma única ocorrência, abrangendo áreas como infraestrutura e construção civil (E04B, E04H), climatização (F24F), controle de pragas (A01M), secagem de materiais (F26B), sistemas de segurança (G08B), educação simulada (G09C) e comunicações digitais (H04L, H04W). Essa variedade demonstra que os sistemas de manutenção de bens não estão restritos a um único setor, mas são aplicados de forma transversal em diferentes domínios técnicos e operacionais (Woodhouse, 2017).

Além disso, a presença de códigos como Y02B – Tecnologias de eficiência energética em edifícios e Y10S – Patentes específicas dos EUA, ainda que com menor frequência, reforça a internacionalização das práticas de manutenção e a adequação às normas globais de sustentabilidade e inovação tecnológica (ISO, 2014; ISO, 2018).

Os dados analisados evidenciam que os maiores detentores de patentes nessa área estão direcionando seus esforços para o desenvolvimento de soluções integradas, digitais e sustentáveis, alinhadas aos conceitos de manutenção inteligente, gestão do ciclo de vida dos ativos e transformação digital (IFAC, 2015; Sharma; Singh; Kumar, 2023). Essa evolução é coerente com as diretrizes da ABNT (2014), que orienta a gestão de ativos físicos com base em valor, desempenho e sustentabilidade.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida ao longo deste estudo evidencia a importância crescente dos sistemas de manutenção de bens no cenário científico e tecnológico, demonstrando a interdependência entre a produção acadêmica e o avanço das inovações. A evolução da literatura sobre o tema nas últimas duas décadas revela um movimento progressivo de amadurecimento da temática, ainda que com certa oscilação, refletindo o fortalecimento gradual do interesse acadêmico e a inserção da manutenção de bens nas discussões estratégicas sobre eficiência operacional, sustentabilidade e transformação digital.

O número limitado de publicações até 2010 pode ser atribuído à incipiente visibilidade da área naquele momento, enquanto os anos posteriores demonstram uma tendência de estabilização e consolidação, impulsionada por fatores como a difusão dos conceitos da Indústria 4.0, o uso de tecnologias digitais e a necessidade de integração entre ativos físicos e sistemas inteligentes. Essa trajetória aponta para uma reconfiguração do papel da manutenção, que deixa de ser vista apenas como uma função de suporte e passa a ser compreendida como um elemento estratégico da gestão organizacional (Tidd; Bessant; Pavitt, 2008).

Paralelamente, a análise do panorama patentário revela um cenário de baixa intensidade inovativa e forte concentração em tecnologias relacionadas à automação, computação e gestão digital. A predominância de patentes nas áreas de controle e TI reforça a tendência global de digitalização dos processos de manutenção, enquanto a distribuição geográfica dos depósitos, com destaque para o Brasil, sugere uma tentativa de fortalecimento tecnológico nacional. No entanto, a predominância de patentes inativas (revogadas, caducadas ou expiradas) indica desafios na sustentabilidade da proteção intelectual, sugerindo a necessidade de políticas mais robustas de incentivo à inovação e à manutenção ativa dos portfólios tecnológicos (Guellec; Van Pottelsberghe De La Potterie, 2007).

A diversidade dos domínios tecnológicos e dos códigos CPC identificados evidencia o caráter transversal e interdisciplinar das inovações em manutenção de bens, com aplicações que vão desde a infraestrutura até o consumo doméstico. Essa multiplicidade reflete a crescente complexidade dos sistemas modernos e a necessidade de abordagens integradas, sustentáveis e orientadas por dados para lidar com a gestão do ciclo de vida dos ativos.

Dessa forma, o estudo aponta para a consolidação de uma nova abordagem em manutenção de bens, baseada em inteligência tecnológica, conectividade, predição de falhas e sustentabilidade, alinhada às diretrizes da norma ISO 55000. O fortalecimento da produção científica e do ambiente de inovação nesse campo é fundamental para o desenvolvimento de

soluções que respondam aos desafios contemporâneos da indústria, das cidades e dos serviços públicos.

Em termos práticos, recomenda-se a ampliação dos investimentos em pesquisa aplicada, a valorização da propriedade intelectual como ativo estratégico e o estímulo a estratégias colaborativas entre academia, indústria e governo. Tais iniciativas são essenciais para a construção de um ecossistema de inovação robusto, capaz de impulsionar uma manutenção mais eficiente, inteligente e sustentável, consolidando o papel da manutenção de bens como eixo fundamental para a competitividade e a sustentabilidade no século XXI (Sharma; Singh; Kumar, 2023).

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 55000: **Gestão de ativos** – Visão geral, princípios e terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. **The second machine age: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies**. New York: W.W. Norton & Company, 2014.

CAMPBELL, J. D.; JARDINE, A. K.; MCGLYNN, J. **Asset management excellence: optimizing equipment life-cycle decisions**. Boca Raton: CRC Press, 2016.

CHESBROUGH, H. W.; ROSENBLOOM, R. S. The role of the business model in capturing value from innovation: evidence from Xerox Corporation's technology spin-off companies. **Industrial and Corporate Change**, Oxford, v. 11, n. 3, p. 529–555, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/icc/11.3.529>. Acesso em: 20 abr. 2025.

FARIA, R. N.; AMARAL, E. M.; SANTOS, E. M. Indústria 4.0: a transformação digital no contexto da manutenção industrial. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Santo André, v. 9, n. 2, p. 1–20, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e22020133-153>. Acesso em: 20 abr. 2025.

GUELLEC, D.; VAN POTTELSBERGHE DE LA POTTERIE, B. **The economics of the European patent system: IP policy for innovation and competition**. Oxford: Oxford University Press, 2007.

IFAC – INTERNATIONAL FEDERATION OF ACCOUNTANTS. **IPSAS 17** – Property, plant, and equipment. New York: IFAC, 2015.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 55000:2014** – Asset management – Overview, principles and terminology. Geneva, 2014.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 55002:2018** – Asset management – Guidelines on the application of ISO 55001. Geneva, 2018.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**: final report of the Industrie 4.0 Working Group. Frankfurt: acatech – National Academy of Science and Engineering, 2013.

KHAKUREL, J. et al. Predictive maintenance: state-of-the-art, challenges and opportunities. **Computers in Industry**, [S. l.], v. 134, 103558, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103558>. Acesso em: 20 abr. 2025.

LEE, J.; LEE, J. Smart manufacturing and digitalization in the post-COVID era. **Journal of Manufacturing Systems**, [S. l.], v. 58, p. 148–151, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.09.003>. Acesso em: 20 abr. 2025.

RAUEN, A. T.; FERRAZ, J. C.; SIMÕES, A. M. Capacidades tecnológicas e estratégias de inovação: um estudo das trajetórias de empresas industriais brasileiras. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 77–110, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/rbi.v16i1.8650662>. Acesso em: 20 abr. 2025.

SHARMA, R.; SINGH, S.; KUMAR, R. AI-driven predictive maintenance in industrial applications. **Journal of Manufacturing Systems**, [S. l.], 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.101239>. Acesso em: 20 abr. 2025.

SILVA, R. A.; SOUZA, P. H. **Gestão de ativos e eficiência empresarial**. São Paulo: Atlas, 2020.

TIDD, J.; BESSANT, J.; PAVITT, K. **Gestão da inovação**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

WOODHOUSE, J. **Asset management decision-making: the SALVO process**. Reading: Woodhouse Partnership, 2017.