Open Science
BRAZIL

DOI: https://doi.org/10.37497/opsbrazil.37

PREPRINT

ECONOMIA CIRCULAR APLICADA À RECUPERAÇÃO DE COMPONENTES INDUSTRIAIS: CONTRIBUIÇÕES PARA A SUSTENTABILIDADE E COMPETITIVIDADE DA INDÚSTRIA BRASILEIRA

MÁRCIO GALVANI ANTONELLI
Engenheiro Mecânico
ORCID: - https://orcid.org/0009-0001-5656-3342
E-mail: marcio.antonelli@grupojca.com.br

RESUMO | A crescente demanda por processos produtivos mais eficientes e sustentáveis tem levado a indústria a buscar alternativas que reduzam custos operacionais sem comprometer o desempenho técnico dos equipamentos. Nesse contexto, a recuperação de componentes industriais destaca-se como uma estratégia alinhada aos princípios da economia circular, promovendo o prolongamento da vida útil de ativos, a redução do consumo de matérias-primas e a minimização da geração de resíduos. O presente estudo tem como objetivo discutir a recuperação de componentes industriais sob a perspectiva da sustentabilidade e da competitividade industrial, demonstrando que essa prática extrapola a manutenção tradicional e constitui uma estratégia de gestão de ativos. A pesquisa caracteriza-se como uma revisão narrativa da literatura, complementada por uma discussão técnico-aplicada baseada na experiência profissional do autor no setor metalúrgico. A análise evidencia que a recuperação de componentes pode gerar benefícios econômicos e ambientais relevantes quando fundamentada em critérios de engenharia, planejamento da manutenção e avaliação técnica das condições operacionais. Além disso, observa-se convergência entre essa prática e os princípios da economia circular, especialmente no que se refere ao uso racional de recursos naturais e ao aumento da eficiência produtiva. Conclui-se que a recuperação de componentes industriais representa uma importante ferramenta para organizações que buscam conciliar desempenho econômico, inovação tecnológica e sustentabilidade, constituindo um campo promissor para futuras pesquisas em engenharia de produção, engenharia mecânica e gestão industrial.

Palavras-chave | Economia circular; Recuperação de componentes industriais; Sustentabilidade industrial; Gestão de ativos; Engenharia de produção; Competitividade.

Submetido: 30-07-2026
Postado: 30-07-2026
e-ISSN: 2764-9822

Endereço de correspondência:
Márcio Galvani Antonelli – E-mail: marcio.antonelli@grupojca.com.br

CC BY

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a indústria mundial passou por profundas transformações impulsionadas pela necessidade de elevar a produtividade, reduzir custos operacionais e responder às crescentes demandas por sustentabilidade ambiental. A intensificação da concorrência global, a volatilidade dos preços das matérias-primas e a adoção de políticas ambientais mais rigorosas fizeram com que empresas revisassem seus modelos de produção e direcionassem maior atenção à gestão eficiente dos ativos industriais.

Tradicionalmente, a substituição de componentes desgastados sempre foi considerada a alternativa mais segura para garantir a continuidade operacional dos sistemas produtivos. Entretanto, essa prática implica elevados custos de aquisição, aumento do consumo de recursos naturais, maior demanda energética para fabricação de novos componentes e incremento na geração de resíduos industriais. Sob a ótica da sustentabilidade, esse modelo linear de produção, baseado em extrair, produzir, utilizar e descartar, mostra-se cada vez menos compatível com os desafios econômicos e ambientais da indústria contemporânea.

Nesse cenário, a economia circular consolidou-se como um modelo capaz de promover uma utilização mais eficiente dos recursos disponíveis. Diferentemente do sistema linear tradicional, a economia circular busca preservar o valor dos materiais e produtos durante o maior tempo possível por meio de estratégias como reutilização, remanufatura, recuperação e reciclagem. Essa abordagem tem sido amplamente discutida por organismos internacionais, governos e instituições de pesquisa como uma alternativa para conciliar crescimento econômico, preservação ambiental e inovação tecnológica.

Entre as estratégias inseridas nesse contexto, destaca-se a recuperação de componentes industriais. Por meio de processos de engenharia adequados, componentes submetidos ao desgaste podem recuperar suas características funcionais e retornar às condições operacionais, reduzindo a necessidade de substituição integral. Além dos benefícios relacionados à diminuição do consumo de matérias-primas, essa prática contribui para a redução de custos operacionais, ampliação da vida útil dos equipamentos e diminuição da geração de resíduos sólidos.

Sob a perspectiva da engenharia de produção e da engenharia mecânica, a recuperação de componentes deve ser compreendida como parte de uma estratégia mais ampla de gestão de ativos. A manutenção deixa de atuar apenas de forma corretiva e passa a integrar decisões estratégicas relacionadas ao desempenho operacional, à confiabilidade dos sistemas produtivos e à competitividade das organizações. Dessa forma, a recuperação de componentes não representa apenas uma solução técnica, mas uma ferramenta de apoio à sustentabilidade industrial e à otimização dos processos produtivos.

Apesar da ampla utilização dessa prática em diversos segmentos industriais, observa-se que parte significativa da literatura científica concentra-se na descrição dos processos tecnológicos empregados na recuperação superficial de componentes, enquanto aspectos relacionados aos impactos econômicos, ambientais e estratégicos permanecem relativamente menos explorados. Essa lacuna evidencia a necessidade de ampliar a discussão sobre o

papel da recuperação de componentes dentro dos princípios da economia circular e da gestão industrial contemporânea.

Além disso, o fortalecimento de normas internacionais relacionadas à gestão de ativos, à gestão ambiental e à eficiência operacional reforça a importância de abordagens integradas que permitam conciliar desempenho econômico e responsabilidade ambiental. A recuperação de componentes insere-se nesse contexto ao possibilitar maior aproveitamento dos recursos existentes, contribuindo para reduzir desperdícios e aumentar a competitividade das organizações.

Diante desse panorama, este artigo propõe discutir a recuperação de componentes industriais como uma estratégia de economia circular aplicada à engenharia, analisando sua contribuição para a sustentabilidade, a competitividade industrial e a gestão eficiente de ativos. Para isso, realiza-se uma revisão narrativa da literatura científica nacional e internacional, complementada por uma discussão técnico-aplicada fundamentada na experiência profissional do autor, buscando integrar conceitos de engenharia, sustentabilidade, economia circular e gestão industrial em uma perspectiva interdisciplinar.

1.1 Problema de Pesquisa

Embora a recuperação de componentes industriais seja amplamente utilizada em diferentes segmentos produtivos, ainda existe limitada integração entre a literatura que aborda seus aspectos técnicos e aquela que discute seus impactos sobre sustentabilidade, economia circular e competitividade industrial.

Diante desse contexto, este estudo busca responder à seguinte questão:

Como a recuperação de componentes industriais pode contribuir para fortalecer a economia circular, aumentar a sustentabilidade e ampliar a competitividade da indústria brasileira?

1.2 Hipótese

Parte-se da hipótese de que a recuperação de componentes industriais, quando fundamentada em critérios técnicos de engenharia e integrada à gestão de ativos, constitui uma estratégia capaz de prolongar a vida útil dos equipamentos, reduzir custos operacionais, minimizar impactos ambientais e fortalecer a competitividade industrial, alinhando-se aos princípios da economia circular.

1.3 Objetivo Geral

Analisar a recuperação de componentes industriais como estratégia de economia circular aplicada à engenharia, discutindo suas contribuições para a sustentabilidade, a gestão eficiente de ativos e a competitividade da indústria brasileira.

1.4 Objetivos Específicos

- Apresentar os fundamentos da economia circular aplicados ao ambiente industrial.
- Discutir o papel da recuperação de componentes na gestão do ciclo de vida de ativos industriais.
- Analisar os benefícios econômicos e ambientais da recuperação em comparação à substituição de componentes.
- Relacionar a recuperação de componentes aos conceitos de manutenção, confiabilidade e gestão de ativos.
- Identificar desafios e perspectivas para ampliação da adoção dessa estratégia na indústria brasileira.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Economia Circular

O modelo econômico predominante durante grande parte da industrialização foi estruturado sobre uma lógica linear de produção, caracterizada pelas etapas de extração de matérias-primas, fabricação, consumo e descarte. Embora esse sistema tenha impulsionado o desenvolvimento industrial nas últimas décadas, também contribuiu para o aumento da exploração de recursos naturais, da geração de resíduos e das emissões de gases de efeito estufa, tornando-se progressivamente incompatível com os desafios ambientais e econômicos contemporâneos.

Como alternativa a esse modelo, consolidou-se o conceito de economia circular, definido como um sistema econômico que busca manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor pelo maior período possível. Diferentemente da economia linear, a economia circular prioriza estratégias voltadas à redução do consumo de recursos naturais, ao reaproveitamento de materiais, à recuperação de componentes e à reinserção desses elementos nos ciclos produtivos.

Segundo a Ellen MacArthur Foundation, uma das principais instituições internacionais dedicadas ao tema, a economia circular baseia-se em três princípios fundamentais: eliminar resíduos e poluição desde a concepção dos produtos, manter produtos e materiais em uso pelo maior tempo possível e regenerar sistemas naturais. Esses princípios representam uma mudança significativa na forma como a indústria gerencia seus ativos, deslocando o foco da simples substituição de equipamentos para estratégias capazes de preservar seu valor técnico e econômico.

No ambiente industrial, essa transformação tem incentivado empresas a adotar práticas como remanufatura, recuperação de componentes, manutenção preditiva, modernização tecnológica e gestão integrada do ciclo de vida dos equipamentos. Essas estratégias reduzem a necessidade de fabricação de novos componentes, diminuem o consumo de matérias-primas e contribuem para maior eficiência operacional.

A recuperação de componentes industriais insere-se diretamente nesse contexto ao permitir que peças submetidas ao desgaste retornem às condições adequadas de funcionamento mediante processos de engenharia específicos. Além da redução de custos, essa prática contribui para diminuir o descarte de materiais metálicos e reduzir os impactos ambientais associados à fabricação de novos componentes.

Outro aspecto relevante da economia circular está relacionado ao aumento da resiliência das organizações. Empresas que investem na recuperação e na reutilização de ativos tornam-se menos dependentes das oscilações do mercado de matérias-primas, da disponibilidade de fornecedores e dos custos associados à aquisição de equipamentos importados. Essa característica assume importância estratégica em setores industriais que operam com equipamentos de elevado valor agregado ou cuja reposição depende de longos prazos de fabricação.

Nesse cenário, a engenharia desempenha papel essencial ao desenvolver soluções técnicas capazes de restaurar o desempenho funcional dos componentes, assegurando confiabilidade operacional e conformidade com requisitos de segurança. Assim, a recuperação de componentes deixa de ser compreendida apenas como uma atividade de manutenção e passa a integrar um modelo de gestão alinhado aos princípios da economia circular, contribuindo simultaneamente para ganhos econômicos, ambientais e operacionais.

2.2 Sustentabilidade Industrial

A sustentabilidade consolidou-se como um dos principais pilares da competitividade empresarial nas últimas décadas. Mais do que atender exigências legais ou responder às demandas da sociedade, incorporar práticas sustentáveis tornou-se uma estratégia capaz de aumentar a eficiência produtiva, reduzir custos e fortalecer a imagem institucional das organizações.

No contexto industrial, a sustentabilidade envolve o equilíbrio entre desempenho econômico, responsabilidade ambiental e desenvolvimento social, conceito conhecido como Triple Bottom Line. Essa abordagem pressupõe que empresas sustentáveis devem gerar resultados financeiros positivos ao mesmo tempo em que minimizam impactos ambientais e contribuem para o desenvolvimento das comunidades nas quais estão inseridas.

A recuperação de componentes industriais apresenta forte aderência a esse modelo por possibilitar o prolongamento da vida útil de equipamentos, reduzindo a necessidade de extração de novos recursos naturais e diminuindo significativamente a geração de resíduos industriais. Além disso, a reutilização de componentes reduz o consumo energético associado aos processos de fabricação de novas peças, contribuindo para menor emissão indireta de gases de efeito estufa.

Nos últimos anos, a adoção de políticas voltadas aos critérios ESG, Environmental, Social and Governance, ampliou ainda mais a relevância da sustentabilidade no ambiente empresarial. Investidores, consumidores e órgãos reguladores passaram a valorizar organizações capazes de demonstrar compromisso efetivo com práticas sustentáveis,

incentivando investimentos em tecnologias voltadas à eficiência energética, economia circular e gestão responsável dos recursos produtivos.

Nesse contexto, a recuperação de componentes industriais representa uma solução capaz de integrar objetivos econômicos e ambientais, reforçando a importância da engenharia como instrumento de inovação e desenvolvimento sustentável.

2.3 Gestão de Ativos Industriais

A crescente complexidade dos processos produtivos tornou a gestão de ativos uma das principais ferramentas para garantir a continuidade operacional e a competitividade das organizações industriais. Equipamentos deixaram de ser considerados apenas recursos de produção para assumir papel estratégico dentro das empresas, influenciando diretamente indicadores de produtividade, qualidade, segurança e desempenho financeiro.

De acordo com a série de normas ISO 55000, a gestão de ativos corresponde ao conjunto de práticas destinadas a extrair valor dos ativos ao longo de todo o seu ciclo de vida. Essa abordagem considera aspectos relacionados à aquisição, operação, manutenção, recuperação e descarte dos equipamentos, buscando maximizar seu desempenho técnico e econômico.

Sob essa perspectiva, decisões relacionadas à substituição ou recuperação de componentes deixam de ser exclusivamente operacionais e passam a integrar o planejamento estratégico das organizações. A escolha entre adquirir um novo equipamento ou recuperar um componente existente deve considerar fatores como custos de investimento, disponibilidade operacional, riscos associados à falha, impacto ambiental e expectativa de vida útil remanescente.

Nesse contexto, a recuperação de componentes industriais apresenta-se como alternativa capaz de ampliar o ciclo de vida dos ativos sem comprometer sua funcionalidade. Quando fundamentada em critérios técnicos adequados, essa prática permite reduzir investimentos em novos equipamentos, diminuir o tempo de indisponibilidade operacional e otimizar o retorno financeiro sobre os ativos existentes.

Outro aspecto relevante refere-se ao conceito de Life Cycle Cost, ou custo do ciclo de vida, amplamente utilizado na engenharia de produção. Esse modelo considera não apenas o valor de aquisição do equipamento, mas todos os custos associados à sua operação, manutenção, recuperação e descarte. Dessa forma, componentes que inicialmente aparentam representar menor custo podem tornar-se economicamente menos vantajosos quando analisados ao longo de toda sua vida útil.

Assim, a recuperação de componentes deve ser compreendida como instrumento de gestão estratégica dos ativos industriais, permitindo às organizações equilibrar desempenho operacional, sustentabilidade ambiental e eficiência econômica.

2.4 Recuperação de Componentes Industriais

O desgaste de componentes mecânicos constitui um fenômeno inevitável em praticamente todos os sistemas industriais. A ação contínua de esforços mecânicos, abrasão, corrosão, fadiga, impacto e temperaturas elevadas provoca alterações dimensionais e estruturais capazes de comprometer o desempenho dos equipamentos ao longo do tempo.

Historicamente, a substituição dos componentes desgastados representou a solução mais frequentemente adotada pelas indústrias. Entretanto, o aumento dos custos de fabricação, a escassez de determinadas matérias-primas e a necessidade de reduzir impactos ambientais estimularam o desenvolvimento de tecnologias voltadas à recuperação desses componentes.

A recuperação industrial compreende um conjunto de processos destinados a restaurar características funcionais de peças desgastadas, permitindo seu retorno às condições operacionais especificadas em projeto. Entre as técnicas empregadas destacam-se revestimentos metálicos, processos de soldagem, usinagem de recuperação, metalização, tratamentos térmicos e diferentes tecnologias de engenharia de superfícies.

Independentemente do processo utilizado, a recuperação deve sempre respeitar critérios técnicos relacionados às propriedades mecânicas do componente, às condições de operação, aos requisitos dimensionais e aos padrões de qualidade exigidos para sua aplicação.

É importante destacar que recuperação, reparo e remanufatura representam conceitos distintos. Enquanto o reparo normalmente busca restabelecer o funcionamento imediato de determinado equipamento, a recuperação procura restaurar características funcionais específicas do componente. Já a remanufatura envolve processos mais abrangentes, capazes de devolver ao equipamento desempenho semelhante ao de um produto novo.

Sob a ótica da economia circular, todas essas estratégias contribuem para ampliar o tempo de utilização dos recursos produtivos, reduzindo a necessidade de fabricação de novos componentes e diminuindo significativamente a geração de resíduos industriais.

Além dos benefícios ambientais, diversos estudos demonstram que a recuperação de componentes pode representar alternativa economicamente vantajosa quando comparada à substituição integral dos equipamentos, especialmente em aplicações envolvendo peças de elevado valor agregado ou de difícil reposição.

Entretanto, a decisão entre recuperar ou substituir um componente deve ser fundamentada em avaliação técnica criteriosa. Fatores como intensidade do desgaste, condições estruturais, exigências operacionais, custos envolvidos e requisitos de segurança precisam ser analisados individualmente para garantir a confiabilidade do equipamento após sua recuperação.

Assim, a engenharia assume papel fundamental nesse processo, fornecendo critérios técnicos que permitam identificar os limites seguros para aplicação das tecnologias de recuperação e assegurando que os componentes recuperados apresentem desempenho compatível com sua finalidade operacional.

2.5 Manutenção Industrial e Confiabilidade

A manutenção industrial evoluiu significativamente nas últimas décadas, deixando de atuar apenas de forma corretiva para tornar-se uma atividade estratégica voltada ao aumento da confiabilidade e da disponibilidade dos sistemas produtivos. Atualmente, empresas competitivas estruturam programas de manutenção capazes de antecipar falhas, reduzir interrupções operacionais e otimizar o desempenho dos ativos industriais.

Tradicionalmente, a manutenção corretiva predominava na maioria das organizações, sendo executada somente após a ocorrência de falhas. Embora essa abordagem apresente menor custo inicial de planejamento, frequentemente resulta em elevados prejuízos decorrentes da interrupção inesperada da produção, aumento do tempo de parada e necessidade de substituição emergencial de componentes.

Com a evolução das técnicas de engenharia, passaram a ganhar espaço modelos preventivos e preditivos de manutenção. A manutenção preventiva baseia-se na realização periódica de inspeções e intervenções programadas, enquanto a manutenção preditiva utiliza técnicas de monitoramento para identificar sinais iniciais de degradação dos equipamentos, permitindo intervenções antes da ocorrência da falha.

Nesse cenário, a recuperação de componentes torna-se importante ferramenta de apoio à estratégia de manutenção. Componentes identificados em processo inicial de desgaste podem ser recuperados durante paradas programadas, evitando falhas catastróficas e reduzindo significativamente o custo das intervenções.

Outro conceito relevante refere-se à confiabilidade operacional, definida como a probabilidade de determinado equipamento desempenhar sua função durante um período específico sob condições previamente estabelecidas. Quanto maior a confiabilidade dos ativos, menor tende a ser a ocorrência de falhas inesperadas e maior a eficiência dos processos produtivos.

A integração entre manutenção planejada, gestão de ativos e recuperação de componentes permite às organizações ampliar a disponibilidade operacional dos equipamentos, reduzir desperdícios e aumentar a competitividade industrial, reforçando a importância da engenharia na tomada de decisões relacionadas ao ciclo de vida dos ativos.

2.6 Manutenção Preventiva como Estratégia para a Recuperação de Componentes Industriais

A manutenção preventiva consolidou-se como uma das principais estratégias para assegurar a confiabilidade, a disponibilidade e a longevidade dos ativos industriais. Diferentemente da manutenção corretiva, realizada somente após a ocorrência de falhas, a manutenção preventiva baseia-se em intervenções planejadas, executadas em intervalos previamente estabelecidos ou fundamentadas na análise das condições operacionais dos equipamentos. Essa abordagem permite identificar precocemente mecanismos de desgaste, reduzindo significativamente a probabilidade de falhas inesperadas e ampliando a vida útil dos componentes.

No contexto da recuperação de componentes industriais, a manutenção preventiva exerce papel determinante. A identificação antecipada de desgastes superficiais, deformações, trincas, corrosão ou perda de propriedades mecânicas possibilita que intervenções de engenharia sejam realizadas antes que ocorram danos estruturais irreversíveis. Dessa forma, componentes que seriam descartados em um modelo tradicional de manutenção podem ser recuperados por meio de processos tecnológicos adequados, retornando às condições operacionais compatíveis com os requisitos técnicos originalmente estabelecidos.

Sob a perspectiva da engenharia de manutenção, recuperar um componente não representa apenas reduzir custos de aquisição. Trata-se de uma decisão técnica fundamentada em inspeções, avaliações metalúrgicas, análises dimensionais e critérios de confiabilidade que asseguram o desempenho seguro do equipamento após a recuperação. Assim, a manutenção preventiva deixa de ser compreendida apenas como atividade operacional para assumir posição estratégica na gestão do ciclo de vida dos ativos industriais.

Outro aspecto relevante refere-se ao planejamento das intervenções. A manutenção preventiva permite programar recuperações durante paradas previamente definidas, reduzindo impactos sobre a produção e evitando custos decorrentes de interrupções não programadas. Além disso, favorece melhor aproveitamento da mão de obra especializada, otimização dos estoques de peças e maior previsibilidade dos investimentos destinados à manutenção.

Sob os princípios da economia circular, a manutenção preventiva constitui um dos mecanismos mais eficientes para prolongar o uso dos recursos produtivos. Ao possibilitar que componentes sejam recuperados antes da ocorrência de falhas severas, reduz-se a necessidade de fabricação de novos equipamentos, diminui-se o consumo de matérias-primas e minimizam-se os impactos ambientais associados aos processos industriais.

Dessa maneira, a manutenção preventiva deve ser compreendida como elemento integrador entre engenharia, sustentabilidade e competitividade industrial, constituindo a base técnica que viabiliza programas eficientes de recuperação de componentes e gestão sustentável dos ativos.

2.7 Planejamento da Manutenção e Gestão do Ciclo de Vida dos Ativos

A eficiência dos programas de recuperação de componentes está diretamente relacionada ao planejamento da manutenção e à gestão do ciclo de vida dos ativos industriais. Organizações que adotam estratégias estruturadas de manutenção conseguem estabelecer critérios técnicos para definir o momento ideal de recuperação, substituição ou descarte de componentes, reduzindo custos operacionais e aumentando a confiabilidade dos equipamentos.

Nesse contexto, a gestão do ciclo de vida considera todas as etapas pelas quais um ativo passa desde sua aquisição até sua desativação definitiva. Essa abordagem permite que decisões relacionadas à manutenção sejam fundamentadas não apenas no estado atual do equipamento, mas também em aspectos econômicos, operacionais, ambientais e estratégicos.

A adoção de indicadores de desempenho, históricos de manutenção, análises de falhas e monitoramento das condições operacionais possibilita identificar tendências de degradação e planejar intervenções antes que ocorram falhas críticas. Dessa forma, a recuperação de componentes passa a integrar uma política permanente de gestão de ativos, substituindo decisões emergenciais por ações planejadas e tecnicamente fundamentadas.

Outro benefício do planejamento refere-se à otimização dos custos ao longo do ciclo de vida dos equipamentos. A recuperação preventiva de componentes frequentemente apresenta custo significativamente inferior ao da substituição integral, especialmente em equipamentos de elevado valor agregado ou cuja reposição depende de importação ou longos prazos de fabricação.

Sob essa perspectiva, a gestão integrada da manutenção contribui para elevar a disponibilidade operacional, reduzir perdas produtivas e ampliar a competitividade das organizações, reforçando o papel estratégico da engenharia na tomada de decisões relacionadas aos ativos industriais.

2.8 Benefícios Econômicos, Operacionais e Ambientais da Manutenção Preventiva

A implementação de programas estruturados de manutenção preventiva produz benefícios que ultrapassam a simples redução de custos com manutenção corretiva. Seus efeitos refletem diretamente sobre a produtividade, a confiabilidade operacional, a sustentabilidade ambiental e a competitividade empresarial.

Do ponto de vista econômico, a recuperação planejada de componentes reduz investimentos em aquisição de novos equipamentos, diminui despesas decorrentes de falhas inesperadas e possibilita melhor distribuição dos recursos financeiros destinados à manutenção. Além disso, reduz perdas associadas às paradas emergenciais, frequentemente responsáveis por elevados prejuízos operacionais.

Sob o aspecto operacional, equipamentos submetidos a programas preventivos apresentam maior disponibilidade, menor índice de falhas e maior confiabilidade durante sua vida útil. A programação das intervenções reduz impactos sobre a produção e melhora a utilização da capacidade instalada, contribuindo para maior eficiência dos processos industriais.

Os benefícios ambientais também merecem destaque. A recuperação de componentes reduz significativamente o consumo de matérias-primas, diminui a geração de resíduos metálicos e reduz a demanda energética necessária para fabricação de novas peças. Como consequência, ocorre redução indireta das emissões de gases de efeito estufa associadas aos processos industriais.

Além disso, empresas que adotam políticas voltadas à manutenção preventiva e recuperação de componentes fortalecem suas práticas de sustentabilidade e ampliam sua aderência aos princípios ESG, demonstrando compromisso com a utilização racional dos recursos naturais e com a redução dos impactos ambientais de suas operações.

Em conjunto, esses benefícios evidenciam que a manutenção preventiva representa uma estratégia capaz de integrar desempenho econômico, responsabilidade ambiental e excelência operacional, tornando-se elemento fundamental para organizações que buscam crescimento sustentável.

2.9 Desafios para a Implantação da Manutenção Preventiva e da Recuperação de Componentes

Embora os benefícios da manutenção preventiva e da recuperação de componentes industriais sejam amplamente reconhecidos, sua implementação ainda enfrenta desafios técnicos, econômicos e organizacionais. Muitas empresas permanecem vinculadas a modelos de manutenção predominantemente corretivos, nos quais as intervenções ocorrem apenas após a manifestação de falhas, elevando custos operacionais, reduzindo a disponibilidade dos equipamentos e comprometendo a confiabilidade dos processos produtivos.

Um dos principais desafios está relacionado à mudança da cultura organizacional. A implantação de programas preventivos exige que gestores e equipes técnicas compreendam a manutenção como um investimento estratégico e não apenas como um centro de custos. Essa mudança de paradigma demanda planejamento, comprometimento da alta administração e participação ativa dos profissionais envolvidos na operação e manutenção dos equipamentos.

Outro fator relevante refere-se à necessidade de capacitação técnica das equipes responsáveis pelas inspeções e pelas decisões relacionadas à recuperação de componentes. A correta identificação dos mecanismos de desgaste, a interpretação dos resultados obtidos em ensaios não destrutivos, análises metalúrgicas e avaliações dimensionais exigem profissionais qualificados, capazes de aplicar critérios técnicos que garantam a segurança e a confiabilidade dos equipamentos recuperados.

Também devem ser considerados os investimentos necessários para implantação de sistemas de monitoramento, aquisição de instrumentos de inspeção, desenvolvimento de indicadores de desempenho e adoção de softwares voltados à gestão da manutenção. Embora esses investimentos possam representar custos iniciais significativos, diversos estudos demonstram que os benefícios obtidos ao longo do ciclo de vida dos ativos compensam amplamente os recursos empregados.

Outro desafio importante está relacionado à padronização dos procedimentos de recuperação. Para que componentes recuperados apresentem desempenho compatível com sua aplicação, é indispensável que os processos sejam executados conforme especificações técnicas, normas aplicáveis e critérios rigorosos de controle da qualidade. A ausência de procedimentos padronizados pode comprometer a confiabilidade dos componentes e reduzir os benefícios esperados da recuperação.

Apesar dessas dificuldades, observa-se crescente tendência de adoção de programas preventivos integrados à gestão de ativos. A busca por maior eficiência operacional, redução de desperdícios e fortalecimento das práticas de sustentabilidade impulsiona organizações

industriais a investir em estratégias que privilegiem o planejamento das intervenções e a recuperação tecnicamente fundamentada de componentes.

2.10 Integração entre Manutenção Preventiva, Gestão de Ativos e Economia Circular

A análise dos conceitos apresentados demonstra que a manutenção preventiva, a recuperação de componentes e a gestão de ativos constituem elementos complementares de uma mesma estratégia voltada ao aumento da eficiência industrial e da sustentabilidade dos processos produtivos. Quando desenvolvidas de forma integrada, essas práticas permitem ampliar a vida útil dos equipamentos, reduzir custos operacionais e otimizar o aproveitamento dos recursos naturais.

A recuperação de componentes somente alcança resultados satisfatórios quando precedida por programas estruturados de inspeção e monitoramento. A manutenção preventiva fornece as informações necessárias para identificar o momento adequado das intervenções, reduzindo a ocorrência de falhas catastróficas e aumentando as possibilidades de recuperação técnica dos componentes.

Essa integração fortalece diretamente os princípios da economia circular ao reduzir a necessidade de fabricação de novas peças, minimizar o descarte de materiais e incentivar a utilização racional dos recursos produtivos. Dessa forma, a manutenção preventiva deixa de representar apenas uma atividade operacional para tornar-se um instrumento estratégico capaz de promover desenvolvimento sustentável e competitividade empresarial.

Além disso, organizações que incorporam programas estruturados de gestão de ativos apresentam maior capacidade de planejamento, melhor desempenho operacional e maior previsibilidade dos investimentos destinados à manutenção. Essa abordagem contribui para elevar os níveis de confiabilidade dos equipamentos, reduzir perdas produtivas e fortalecer a posição competitiva das empresas em mercados cada vez mais exigentes.

Diante desse contexto, verifica-se que a integração entre manutenção preventiva, recuperação de componentes e economia circular representa uma evolução natural da engenharia industrial contemporânea. Mais do que prolongar a vida útil dos ativos, essa estratégia contribui para construção de modelos produtivos mais eficientes, sustentáveis e preparados para enfrentar os desafios tecnológicos e ambientais das próximas décadas.

3. METODOLOGIA

3.1 Natureza da Pesquisa

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza aplicada, por buscar analisar conhecimentos científicos relacionados à manutenção preventiva, recuperação de componentes industriais e economia circular, visando compreender sua aplicação prática no ambiente industrial. A pesquisa aplicada possui como finalidade gerar conhecimentos

capazes de contribuir para solução de problemas concretos enfrentados pelas organizações, especialmente aqueles relacionados à gestão eficiente dos ativos industriais.

Quanto aos objetivos, o estudo apresenta caráter exploratório e descritivo. A pesquisa exploratória possibilita ampliar o conhecimento sobre o tema, identificando conceitos, tendências e relações existentes entre manutenção preventiva, recuperação de componentes e sustentabilidade industrial. A pesquisa descritiva permite organizar, interpretar e apresentar essas informações de forma sistematizada, estabelecendo conexões entre os diferentes elementos analisados.

Quanto à abordagem, adotou-se o método qualitativo, considerando que o objetivo principal consiste em interpretar conceitos, estratégias e práticas relacionadas à engenharia de manutenção e à gestão de ativos, sem a utilização de técnicas estatísticas para tratamento dos dados.

3.2 Procedimentos Metodológicos

O desenvolvimento da pesquisa fundamentou-se em revisão narrativa da literatura científica, complementada por análise documental e discussão técnico-aplicada baseada na experiência profissional do autor no setor metalúrgico.

Foram consultados livros, artigos científicos, normas técnicas, documentos institucionais e publicações relacionadas à manutenção industrial, confiabilidade, recuperação de componentes, gestão de ativos, sustentabilidade e economia circular. A seleção das fontes priorizou materiais reconhecidos pela comunidade científica e publicações capazes de oferecer suporte teórico aos objetivos estabelecidos nesta pesquisa.

Além da revisão bibliográfica, a experiência profissional do autor foi utilizada como elemento complementar de interpretação dos resultados, permitindo relacionar os conceitos discutidos na literatura às práticas observadas na realidade industrial. Essa abordagem contribui para aproximar os fundamentos científicos das situações efetivamente encontradas nos processos de manutenção e recuperação de componentes.

3.3 Análise das Informações

As informações obtidas foram organizadas conforme os principais eixos temáticos da pesquisa: manutenção preventiva, recuperação de componentes industriais, gestão de ativos, confiabilidade operacional e economia circular.

A análise ocorreu de maneira interpretativa, buscando identificar convergências entre os referenciais teóricos e as práticas adotadas no ambiente industrial. A comparação entre diferentes abordagens permitiu compreender como programas estruturados de manutenção preventiva podem influenciar a eficiência operacional, reduzir custos de manutenção e fortalecer estratégias voltadas à sustentabilidade industrial.

A interpretação das informações considerou ainda os impactos econômicos, ambientais e operacionais decorrentes da recuperação de componentes, permitindo construir uma

visão integrada sobre a contribuição dessa prática para o aumento da competitividade das organizações.

3.4 Limitações da Pesquisa

Como toda pesquisa baseada em revisão narrativa da literatura, este estudo apresenta limitações relacionadas à disponibilidade das fontes consultadas e à impossibilidade de generalizar integralmente seus resultados para todos os segmentos industriais.

Além disso, as características específicas dos equipamentos, processos produtivos e tecnologias empregadas podem influenciar a aplicabilidade das estratégias de recuperação de componentes, exigindo avaliações técnicas individualizadas para cada contexto operacional.

Entretanto, tais limitações não comprometem os objetivos propostos, uma vez que a pesquisa busca oferecer uma análise teórica e técnico-aplicada sobre a importância da manutenção preventiva como elemento estratégico para recuperação de componentes e fortalecimento da economia circular no ambiente industrial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 A Manutenção Preventiva como Base para a Recuperação de Componentes Industriais

A análise desenvolvida ao longo desta pesquisa evidencia que a manutenção preventiva representa o principal mecanismo capaz de viabilizar programas eficientes de recuperação de componentes industriais. Diferentemente da manutenção corretiva, que atua após a ocorrência de falhas, a manutenção preventiva permite identificar precocemente alterações dimensionais, desgastes superficiais, processos corrosivos, deformações e demais mecanismos de deterioração antes que comprometam definitivamente a integridade estrutural dos componentes.

Essa atuação antecipada amplia significativamente as possibilidades de recuperação técnica das peças, permitindo que intervenções de engenharia sejam executadas em momento adequado, preservando características mecânicas essenciais para o retorno seguro dos componentes às condições operacionais.

Sob essa perspectiva, verifica-se que a recuperação de componentes deixa de representar apenas uma alternativa econômica à substituição de peças, passando a constituir uma consequência direta da existência de programas estruturados de manutenção preventiva. Quanto maior a capacidade de monitoramento dos ativos industriais, maiores tendem a ser as oportunidades de recuperação e menor a necessidade de descarte prematuro dos componentes.

Além dos aspectos econômicos, essa abordagem fortalece a confiabilidade operacional dos equipamentos, reduzindo riscos de falhas inesperadas e contribuindo para maior estabilidade dos processos produtivos.

4.2 Recuperação de Componentes como Ferramenta Estratégica de Gestão de Ativos

A recuperação de componentes deve ser compreendida como parte integrante da gestão estratégica dos ativos industriais. A decisão entre recuperar ou substituir um componente não pode ser baseada exclusivamente no custo imediato da intervenção, devendo considerar fatores relacionados ao desempenho operacional, confiabilidade, disponibilidade dos equipamentos, impacto ambiental e custo total do ciclo de vida.

Os resultados obtidos na literatura demonstram que organizações que adotam políticas estruturadas de recuperação conseguem reduzir significativamente investimentos destinados à aquisição de novos componentes, especialmente em equipamentos de elevado valor agregado ou cuja reposição apresenta elevados prazos de fabricação.

Sob esse enfoque, observa-se que programas preventivos bem estruturados proporcionam melhor aproveitamento dos ativos existentes, ampliando sua vida útil sem comprometer requisitos de segurança ou desempenho operacional.

Essa visão está diretamente alinhada aos princípios estabelecidos pela gestão moderna de ativos, na qual o objetivo não consiste apenas em manter equipamentos funcionando, mas em extrair o maior valor possível de cada ativo durante todo o seu ciclo de vida.

4.3 Impactos Econômicos da Manutenção Preventiva e da Recuperação de Componentes

Os benefícios econômicos decorrentes da recuperação planejada de componentes manifestam-se em diferentes níveis da gestão industrial. A redução da necessidade de aquisição de novos equipamentos representa apenas uma das vantagens observadas.

Programas estruturados de manutenção preventiva também contribuem para diminuir custos relacionados às paradas emergenciais, reduzir perdas de produção, otimizar estoques de peças sobressalentes e melhorar o planejamento financeiro das organizações.

Outro aspecto relevante refere-se ao aumento da disponibilidade operacional dos equipamentos. Componentes recuperados antes da ocorrência de falhas críticas possibilitam continuidade dos processos produtivos com menor índice de interrupções não programadas, refletindo diretamente sobre indicadores de produtividade e eficiência operacional.

Além disso, a previsibilidade proporcionada pelo planejamento das intervenções favorece melhor utilização dos recursos humanos e financeiros destinados à manutenção, reduzindo desperdícios e aumentando o retorno dos investimentos realizados.

4.4 Contribuições para a Economia Circular e Sustentabilidade Industrial

A recuperação de componentes industriais apresenta estreita relação com os princípios da economia circular ao promover o prolongamento da vida útil dos ativos produtivos e reduzir a necessidade de fabricação de novos componentes.

Ao recuperar peças submetidas ao desgaste, diminui-se o consumo de matérias-primas, reduz-se a geração de resíduos industriais e minimizam-se os impactos ambientais associados aos processos de extração, fabricação, transporte e descarte.

Essa estratégia contribui também para redução do consumo energético necessário à produção de novos componentes, favorecendo diminuição indireta das emissões de gases de efeito estufa e fortalecendo políticas corporativas voltadas à sustentabilidade.

Nesse contexto, verifica-se que a manutenção preventiva representa um instrumento indispensável para operacionalização da economia circular na indústria, pois somente a identificação antecipada dos desgastes permite recuperar componentes antes que se tornem inviáveis técnica ou economicamente.

Assim, a engenharia de manutenção assume papel estratégico não apenas na preservação da confiabilidade operacional, mas também na promoção do desenvolvimento industrial sustentável.

4.5 Discussão Integrada dos Resultados

A análise integrada dos resultados permite concluir que manutenção preventiva, recuperação de componentes e gestão de ativos constituem práticas indissociáveis dentro da engenharia industrial contemporânea.

Embora frequentemente tratadas de forma independente, essas estratégias apresentam elevada complementaridade. A manutenção preventiva fornece as informações necessárias para identificação dos desgastes; a recuperação de componentes transforma essas informações em ações concretas capazes de prolongar a vida útil dos ativos; e a gestão de ativos integra essas decisões ao planejamento estratégico das organizações.

A experiência prática observada no ambiente industrial demonstra que empresas que estruturam programas preventivos consistentes apresentam maior capacidade de recuperar componentes, reduzir custos operacionais, aumentar a disponibilidade dos equipamentos e fortalecer sua competitividade.

Dessa forma, verifica-se que a manutenção preventiva não deve ser compreendida apenas como atividade de conservação dos equipamentos, mas como elemento estratégico responsável por viabilizar a recuperação de componentes, fortalecer a economia circular e promover ganhos econômicos, operacionais e ambientais para as organizações.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar a recuperação de componentes industriais sob a perspectiva da economia circular, destacando a importância da manutenção preventiva como elemento estratégico para a gestão eficiente dos ativos industriais.

A análise realizada demonstrou que programas estruturados de manutenção preventiva ampliam significativamente as possibilidades de recuperação de componentes, permitindo

identificar mecanismos de desgaste antes que ocorram falhas irreversíveis. Essa abordagem reduz custos operacionais, aumenta a disponibilidade dos equipamentos, fortalece a confiabilidade dos processos produtivos e contribui para utilização mais eficiente dos recursos industriais.

Sob a perspectiva da sustentabilidade, verificou-se que a recuperação de componentes representa importante instrumento para redução do consumo de matérias-primas, diminuição da geração de resíduos e fortalecimento dos princípios da economia circular. Ao prolongar a vida útil dos ativos industriais, as organizações reduzem impactos ambientais sem comprometer desempenho técnico ou segurança operacional.

Outro aspecto evidenciado refere-se ao papel estratégico da engenharia de manutenção. Mais do que executar intervenções técnicas, a manutenção preventiva fornece informações essenciais para tomada de decisões relacionadas à recuperação, substituição e gestão do ciclo de vida dos equipamentos. Dessa forma, a engenharia passa a atuar diretamente na construção de modelos produtivos mais eficientes, sustentáveis e competitivos.

Conclui-se, portanto, que a manutenção preventiva constitui o principal elo entre recuperação de componentes, gestão de ativos e economia circular. Sua adoção permite transformar ações tradicionalmente voltadas apenas à conservação dos equipamentos em estratégias capazes de gerar valor econômico, operacional e ambiental para as organizações.

Como perspectiva para pesquisas futuras, recomenda-se o desenvolvimento de estudos de caso envolvendo diferentes segmentos industriais, permitindo mensurar quantitativamente os ganhos obtidos com programas estruturados de manutenção preventiva e recuperação de componentes, bem como avaliar seus impactos sobre indicadores de confiabilidade, sustentabilidade e competitividade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS (ABRAMAN). Documento Nacional da Manutenção. Rio de Janeiro: ABRAMAN, edição mais recente.

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

BARDIN, Laurence. Análise de Conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2016.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e Técnicas de Pesquisa Social. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

KARDEC, Allan; NASCIF, Júlio. Manutenção: Função Estratégica. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2019.

KELLY, Anthony. Maintenance Strategy. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

LEITE, Paulo Roberto. Logística Reversa: Sustentabilidade e Competitividade. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2017.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos de Metodologia Científica. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

MOUBRAY, John. Reliability-Centered Maintenance. 2. ed. New York: Industrial Press, 1997.

NONAKA, Ikujiro; TAKEUCHI, Hirotaka. Criação de Conhecimento na Empresa. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

PORTER, Michael E. Vantagem Competitiva: Criando e Sustentando um Desempenho Superior. Rio de Janeiro: Campus, 1989.

WIREMAN, Terry. Total Productive Maintenance. New York: Industrial Press, 2004.

XENOS, Harilaus Georgius d'Philippos. Gerenciando a Manutenção Produtiva. 2. ed. Nova Lima: Falconi Editora, 2014.

Biografia do autor

Márcio Galvani Antonelli é Engenheiro Mecânico com experiência em manutenção industrial, recuperação de componentes, gestão de ativos e engenharia de manutenção. Sua atuação concentra-se no desenvolvimento de estratégias voltadas à economia circular, sustentabilidade industrial, confiabilidade operacional e otimização do ciclo de vida de equipamentos. Desenvolve estudos sobre a aplicação da engenharia como ferramenta para aumentar a competitividade da indústria brasileira por meio de soluções que promovam eficiência operacional, redução de custos e uso sustentável de recursos.