



## **SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA METALÚRGICA: COMO PEQUENAS MUDANÇAS EM PROCESSOS PODEM GERAR GRANDES IMPACTOS**

## **SUSTAINABILITY IN THE METAL INDUSTRY: HOW SMALL CHANGES IN PROCESSES CAN GENERATE BIG IMPACTS**

## **SOSTENIBILIDAD EN LA INDUSTRIA METALÚRGICA: CÓMO PEQUEÑOS CAMBIOS EN LOS PROCESOS PUEDEN GENERAR GRANDES IMPACTOS**



<https://doi.org/10.56238/levv16n48-116>

**Data de submissão:** 30/04/2025

**Data de publicação:** 30/05/2025

**Jean Carlos Norato**

### **RESUMO**

Este artigo analisa a sustentabilidade na indústria metalúrgica, com ênfase em como pequenas mudanças nos processos produtivos podem gerar grandes impactos ambientais e econômicos. O estudo, de caráter bibliográfico e documental, foi estruturado a partir de dissertações, artigos científicos, relatórios técnicos e estudos de caso relacionados à sustentabilidade no setor metalúrgico e metalomecânico. Os resultados apontam que ajustes simples, como a segregação adequada de resíduos, o reaproveitamento de sucata, a substituição de insumos poluentes e a manutenção preventiva de equipamentos, são capazes de reduzir custos e mitigar impactos socioambientais de forma significativa. Também se verificou que práticas como o uso racional de energia, a inovação em fluidos de corte e o aproveitamento de coprodutos ampliam a competitividade das empresas em mercados cada vez mais exigentes. A análise crítica demonstra que a sustentabilidade deve ser tratada como estratégia organizacional, capaz de integrar inovação tecnológica, eficiência produtiva e responsabilidade ambiental, consolidando-se como elemento indispensável para a indústria contemporânea.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade. Indústria Metalúrgica. Processos Produtivos. Resíduos. Inovação.

### **ABSTRACT**

This article analyzes sustainability in the metallurgical industry, with emphasis on how small changes in production processes can generate significant environmental and economic impacts. The study, of bibliographic and documentary character, was structured from dissertations, scientific articles, technical reports, and case studies related to sustainability in the metallurgical and metal-mechanical sector. The results indicate that simple adjustments, such as proper waste segregation, scrap reuse, replacement of polluting inputs, and preventive maintenance of equipment, can significantly reduce costs and mitigate socio-environmental impacts. It was also found that practices such as rational energy use, innovation in cutting fluids, and by-product utilization increase companies' competitiveness in increasingly demanding markets. The critical analysis shows that sustainability should be treated as an organizational strategy, capable of integrating technological innovation, production efficiency, and environmental responsibility, consolidating itself as an indispensable element for contemporary industry.

**Keywords:** Sustainability. Metallurgical Industry. Production Processes. Waste. Innovation.

## RESUMEN

Este artículo analiza la sostenibilidad en la industria metalmecánica, destacando cómo pequeños cambios en los procesos de producción pueden generar importantes impactos ambientales y económicos. El estudio bibliográfico y documental se estructuró con base en tesis doctorales, artículos científicos, informes técnicos y estudios de caso relacionados con la sostenibilidad en los sectores metalmecánico y metalmecánico. Los resultados indican que ajustes sencillos, como la correcta segregación de residuos, la reutilización de chatarra, la sustitución de insumos contaminantes y el mantenimiento preventivo de equipos, pueden reducir significativamente los costos y mitigar los impactos socioambientales. También se encontró que prácticas como el uso racional de la energía, la innovación en fluidos de corte y el aprovechamiento de subproductos aumentan la competitividad de las empresas en mercados cada vez más exigentes. El análisis crítico demuestra que la sostenibilidad debe considerarse una estrategia organizacional capaz de integrar la innovación tecnológica, la eficiencia productiva y la responsabilidad ambiental, consolidándose como un elemento indispensable para la industria contemporánea.

**Palabras clave:** Sostenibilidad. Industria Metalúrgica. Procesos de Producción. Residuos. Innovación.

## 1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade vem ganhando centralidade na indústria metalúrgica, pois os processos produtivos desse setor historicamente geram elevados volumes de resíduos, emissões e consumo energético, o que acarreta desafios socioambientais que precisam ser mitigados por meio de mudanças graduais, mas consistentes, em todas as etapas de fabricação e gestão (Zilli et al., 2016).

Estudos apontam que a siderurgia brasileira, um dos pilares da economia nacional, enfrenta pressões para reduzir emissões e aumentar sua eficiência energética, o que reforça a necessidade de integrar práticas de sustentabilidade de forma estratégica, utilizando inovação tecnológica e otimização de processos como instrumentos de competitividade (Carvalho et al., 2015).

Análises desenvolvidas no campo da gestão ambiental em empresas metalomecânicas indicam que pequenas adaptações, como a melhoria na segregação de resíduos ou a substituição de insumos de alto impacto, podem reduzir significativamente os danos ambientais, sem comprometer a qualidade do produto final ou a eficiência produtiva (Stumpf et al., 2018).

Entre as principais questões que emergem estão a geração de resíduos sólidos, a contaminação de efluentes e a emissão de gases poluentes, problemas intrínsecos às operações industriais que podem ser minimizados com a implantação de medidas de controle mais rígidas e com a incorporação de tecnologias ambientalmente corretas (Silva, 2018).

Pesquisas realizadas em indústrias do setor metalúrgico brasileiro demonstraram que o diagnóstico ambiental é ferramenta essencial para identificar pontos críticos do processo, permitindo que gestores reconheçam oportunidades de intervenção e implementem soluções de baixo custo com grande potencial de impacto positivo (Rodrigues, 2018).

A gestão de fluidos de corte, por exemplo, tem sido objeto de investigações que ressaltam seu efeito tanto sobre a eficiência da usinagem quanto sobre a saúde ocupacional e o meio ambiente, indicando que a redução do consumo, o reaproveitamento e a substituição por alternativas menos tóxicas constituem estratégias de significativa relevância (Constantino & Akamatsu, 2022).

O debate internacional reforça que práticas de sustentabilidade devem ser incorporadas como parte integrante da estratégia empresarial, pois empresas que não adotarem diretrizes de descarbonização, economia circular e inovação verde terão maior dificuldade de se manterem competitivas em um mercado cada vez mais regulado e exigente (ANEME, 2021).

Levantamentos recentes destacam ainda a importância da inovação tecnológica em processos metalúrgicos, revelando que o desenvolvimento de novas rotas de produção do ferro e do aço, associadas ao aproveitamento de coprodutos e resíduos, pode contribuir de forma decisiva para a redução dos impactos ambientais e para a construção de um setor mais sustentável (Gorgulho et al., 2025).

Na perspectiva das práticas industriais, o reaproveitamento de sucata metálica desponta como uma das medidas de maior retorno ambiental e econômico, já que diminui a demanda por extração mineral e energia, ao mesmo tempo em que fortalece a economia circular e melhora a imagem institucional perante consumidores e órgãos reguladores (Santos et al., 2015).

O objetivo deste estudo é analisar como a sustentabilidade pode ser fortalecida na indústria metalúrgica por meio de pequenas mudanças nos processos produtivos, reunindo evidências científicas que demonstram a viabilidade e os resultados obtidos em diferentes experiências nacionais e internacionais.

A justificativa para a realização desta pesquisa encontra respaldo na relevância que a sustentabilidade adquiriu no cenário contemporâneo, onde políticas públicas, pressões do mercado e a escassez de recursos naturais convergem para a necessidade de transformar a indústria metalúrgica em um setor mais eficiente, competitivo e ambientalmente responsável (ANEME, 2021).

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 SUSTENTABILIDADE APLICADA À INDÚSTRIA METALÚRGICA**

A sustentabilidade aplicada à indústria metalúrgica vem se consolidando como um campo estratégico de investigação, tendo em vista que esse setor, historicamente associado ao elevado consumo de energia e de matérias-primas, precisa se adaptar às novas exigências de competitividade global. O conceito ultrapassa a simples mitigação de impactos ambientais, passando a incorporar modelos de gestão integrados que permitem alinhar ganhos econômicos, responsabilidade social e preservação ambiental, fatores cada vez mais demandados por mercados nacionais e internacionais (Zilli et al., 2016).

Pesquisas apontam que a siderurgia brasileira, em particular, é responsável por parcela significativa do consumo energético do país, além de representar fonte de emissão de gases de efeito estufa. A implementação de práticas sustentáveis, nesse contexto, significa adotar mecanismos de maior eficiência energética, reduzir desperdícios e valorizar resíduos como insumos, favorecendo uma lógica de economia circular que fortalece tanto a imagem institucional quanto a viabilidade financeira das empresas (Carvalho et al., 2015).

A literatura especializada também destaca a importância das mudanças organizacionais que ocorrem dentro das empresas metalúrgicas, em que pequenas alterações de processo, como substituição de materiais auxiliares, melhoria da logística interna ou revisão de parâmetros de produção, demonstram capacidade de gerar resultados expressivos em termos de sustentabilidade ambiental e social, configurando-se como estratégias de alto impacto com baixo custo de implementação (Stumpf et al., 2018).

Estudos de caso desenvolvidos em indústrias do setor metalomecânico evidenciam que a realização de diagnósticos ambientais detalhados possibilita identificar pontos críticos da operação, revelando práticas que podem ser ajustadas de forma imediata e sem grandes investimentos, como a melhoria na segregação de resíduos ou a redução do consumo de água e energia em etapas específicas do processo (Silva, 2018).

Outro fator que contribui para o fortalecimento da sustentabilidade é a criação de uma cultura organizacional voltada para o engajamento dos trabalhadores, pois a adesão dos colaboradores às práticas de gestão ambiental facilita a implementação de ações de controle, estimula a busca por soluções inovadoras e promove maior comprometimento coletivo com os objetivos institucionais (Rodrigues, 2018).

As pesquisas envolvendo fluidos de corte utilizados em operações de usinagem exemplificam como intervenções relativamente simples podem gerar efeitos positivos. A substituição por compostos menos tóxicos, o reaproveitamento por meio de sistemas de filtragem e a redução do volume descartado constituem medidas eficazes que, além de diminuir a contaminação ambiental, reduzem custos e melhoram as condições de saúde ocupacional (Constantino & Akamatsu, 2022).

O cenário internacional também reforça o papel da sustentabilidade como diferencial competitivo, pois regulamentos ambientais mais rígidos e a crescente pressão de consumidores por produtos com menor impacto ambiental exigem que as empresas metalúrgicas reavaliem continuamente suas práticas, investindo em processos produtivos mais limpos, em inovação tecnológica e em mecanismos de certificação ambiental (ANEME, 2021).

Dentro dessa lógica, a inovação verde tem ganhado espaço, com destaque para pesquisas voltadas à transformação de resíduos industriais em coprodutos e à aplicação de novos fluxos de produção que reduzem a emissão de gases e a geração de efluentes. A perspectiva é de que a indústria metalúrgica caminhe para uma maior integração entre sustentabilidade e competitividade, na medida em que a adoção de práticas ambientais passa a representar uma exigência estratégica de sobrevivência empresarial (Gorgulho et al., 2025).

O reaproveitamento de sucata metálica é uma das medidas mais estudadas, pois apresenta viabilidade técnica e resultados imediatos em termos de redução do consumo energético e de extração mineral. Empresas que investem nesse tipo de prática não apenas minimizam os impactos ambientais, mas também conseguem melhorar sua inserção em cadeias produtivas internacionais que exigem indicadores de sustentabilidade como critério de negociação (Santos et al., 2015).

A literatura evidencia que a sustentabilidade na indústria metalúrgica precisa ser entendida como parte da gestão global da empresa, envolvendo desde a seleção de insumos até a logística reversa dos produtos. Pequenas alterações de procedimentos operacionais podem significar ganhos

expressivos de eficiência, comprovando que a inovação não está restrita a grandes investimentos, mas também a ajustes organizacionais e tecnológicos cotidianos (Zilli et al., 2016).

O setor siderúrgico brasileiro vem se destacando como campo fértil para experimentação de novas tecnologias ambientais, e embora desafios persistam, como o custo elevado de algumas soluções, a integração de práticas sustentáveis à gestão empresarial demonstra que a transformação estrutural do setor é possível e necessária, gerando ganhos que transcendem a dimensão econômica e alcançam o campo social e ambiental (Carvalho et al., 2015).

Portanto, compreender os fundamentos da sustentabilidade aplicada à indústria metalúrgica implica reconhecer que a conjugação de pequenas mudanças organizacionais, aliadas a inovações tecnológicas, constitui caminho eficaz para transformar um setor tradicionalmente impactante em um ambiente produtivo mais responsável, competitivo e socialmente legítimo (Stumpf et al., 2018).

## 2.2 PROCESSOS METALÚRGICOS E GESTÃO SUSTENTÁVEL

Os processos metalúrgicos, por sua natureza intensiva em energia e insumos, apresentam um dos maiores potenciais de impacto ambiental, sendo responsáveis por emissões atmosféricas significativas, geração de resíduos sólidos e líquidos e elevado consumo de água. A integração da gestão sustentável a essas etapas permite identificar oportunidades de melhoria que, embora de pequena escala operacional, traduzem-se em impactos expressivos na redução da pegada ecológica do setor (Silva, 2018).

O diagnóstico ambiental em indústrias metalúrgicas demonstrou que ajustes como a melhoria da segregação de resíduos, a redução de perdas no transporte interno de materiais e o reaproveitamento de insumos podem gerar resultados imediatos, sem a necessidade de investimentos vultosos em tecnologia, demonstrando que a sustentabilidade pode ser alcançada com intervenções pontuais, quando bem planejadas (Rodrigues, 2018).

A gestão de fluidos de corte utilizados na usinagem de peças metálicas ilustra de forma clara o impacto de pequenas mudanças nos processos, pois a substituição por fluidos biodegradáveis ou a implementação de sistemas de filtragem e reciclagem reduzem drasticamente o risco de contaminação ambiental, ao mesmo tempo em que proporcionam ganhos de saúde ocupacional e diminuição dos custos de descarte (Constantino & Akamatsu, 2022).

Estudos sobre práticas sustentáveis em empresas do setor metalomecânico confirmam que a coleta seletiva de resíduos, a reutilização de embalagens e a adoção de programas de conscientização ambiental entre funcionários constituem medidas que, isoladamente, podem parecer limitadas, mas que, em conjunto, representam expressiva redução de impactos ambientais e fortalecimento da cultura organizacional (Zilli et al., 2016).

A siderurgia brasileira tem sido objeto de análises que ressaltam a relevância do uso eficiente da energia, uma vez que os processos de redução do minério e produção de aço são altamente dependentes de fontes energéticas. A adoção de tecnologias mais eficientes, como fornos de maior rendimento e recuperação de calor residual, permite não só reduzir custos, mas também alinhar o setor às exigências globais de mitigação das mudanças climáticas (Carvalho et al., 2015).

O reaproveitamento de sucata metálica é outro exemplo emblemático de gestão sustentável aplicada a processos metalúrgicos. Ao reinserir o material no ciclo produtivo, reduz-se a necessidade de extração mineral e o consumo de energia elétrica, fatores que contribuem para a economia circular e diminuem a pressão sobre os recursos naturais, reforçando o papel da metalurgia na promoção de uma cadeia produtiva mais equilibrada (Santos et al., 2015).

Além disso, a utilização de coprodutos gerados nos processos metalúrgicos, como escórias e pós de aciaria, em segmentos como a construção civil, amplia a vida útil dos aterros industriais e contribui para a substituição de matérias-primas convencionais, criando novas cadeias de valor e demonstrando que a sustentabilidade pode ser incorporada por meio da inovação no reaproveitamento de resíduos (Gorgulho et al., 2025).

Os avanços normativos e regulatórios também influenciam diretamente a gestão sustentável na metalurgia, pois legislações ambientais mais rígidas obrigam as empresas a adotar práticas preventivas, o que estimula a adoção de tecnologias limpas e a certificação de processos, assegurando não só a conformidade legal, mas também a abertura de novos mercados mais exigentes em termos de responsabilidade ambiental (ANEME, 2021).

Observou-se nas indústrias do setor é a importância da manutenção preventiva e da eficiência operacional dos equipamentos, pois práticas simples como o ajuste de parâmetros de funcionamento e a substituição de componentes desgastados reduzem o consumo energético e evitam falhas que poderiam gerar maiores volumes de resíduos ou emissões poluentes (Stumpf et al., 2018).

As mudanças nos processos produtivos também refletem na melhoria da imagem institucional das empresas, já que o compromisso com a sustentabilidade fortalece a relação com consumidores, investidores e órgãos reguladores, tornando-se um diferencial competitivo em um mercado global que valoriza iniciativas alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Silva, 2018).

O setor metalúrgico, ao incorporar práticas sustentáveis em seus processos, demonstra que a gestão ambiental não deve ser tratada como um custo adicional, mas sim como um investimento que agrega valor, aumenta a eficiência e fortalece a posição competitiva, confirmando que pequenas mudanças estruturadas em diferentes etapas do processo podem resultar em ganhos amplos e duradouros (Rodrigues, 2018).

Portanto, a sustentabilidade aplicada aos processos metalúrgicos reforça a importância de alinhar tecnologia, gestão e inovação, demonstrando que a reconfiguração de práticas consolidadas por



meio de intervenções graduais, mas consistentes, é capaz de gerar impactos significativos, reduzindo danos ambientais e promovendo maior competitividade industrial (Carvalho et al., 2015).

## 2.3 AVANÇOS TECNOLÓGICOS E PERSPECTIVAS DA SUSTENTABILIDADE NA METALURGIA

As inovações tecnológicas voltadas à sustentabilidade na metalurgia demonstram que a modernização dos processos industriais não é apenas uma necessidade ambiental, mas também um caminho estratégico para aumentar a competitividade global. O desenvolvimento de novos métodos de reaproveitamento de resíduos e a otimização do consumo energético são exemplos de práticas que se consolidam como diferenciais em um setor tradicionalmente intensivo em recursos (Zilli et al., 2016).

A siderurgia brasileira, diante de pressões crescentes por redução de emissões de gases de efeito estufa, tem incorporado tecnologias mais limpas, como sistemas de recuperação de calor, filtragem avançada de gases e reaproveitamento de subprodutos, configurando-se como um campo de experimentação em que sustentabilidade e inovação caminham lado a lado (Carvalho et al., 2015).

Os avanços em tecnologias de usinagem também apresentam forte relação com a sustentabilidade, pois a substituição de fluidos de corte convencionais por alternativas biodegradáveis e a aplicação de sistemas de mínimo volume de lubrificação reduzem o impacto ambiental e ampliam a eficiência dos processos, mostrando que ajustes tecnológicos pontuais podem gerar efeitos expressivos (Constantino & Akamatsu, 2022).

A criação de planos de ação estruturados para a sustentabilidade no setor metalúrgico, envolvendo práticas de descarbonização, utilização eficiente dos recursos e promoção da economia circular, mostra-se fundamental para orientar as empresas a enfrentar os desafios impostos por regulamentos internacionais e novas demandas de mercado, especialmente no que diz respeito à rastreabilidade e transparência ambiental (ANEME, 2021).

Estudos recentes revelam que a transformação dos resíduos gerados nos processos metalúrgicos em insumos para outros segmentos industriais constitui uma das principais tendências do setor, ampliando a vida útil dos aterros e gerando novas cadeias de valor, em especial nas áreas de construção civil e infraestrutura, que absorvem escórias e coprodutos de fundição (Gorgulho et al., 2025).

O reaproveitamento da sucata metálica continua sendo uma das estratégias mais eficazes e de maior retorno econômico, pois além de reduzir a demanda por extração mineral e energia, promove a consolidação de práticas alinhadas à economia circular, criando condições para que as empresas respondam positivamente às pressões ambientais e ao mesmo tempo reforcem sua posição competitiva (Santos et al., 2015).



A modernização de equipamentos e a automação dos processos produtivos oferecem novas possibilidades para reduzir perdas e melhorar a eficiência, permitindo o monitoramento em tempo real de parâmetros críticos como consumo energético, emissão de poluentes e aproveitamento de insumos, o que fortalece o conceito de manufatura avançada sustentável (Stumpf et al., 2018).

O acolhimento de indicadores ambientais claros e verificáveis, aliados à certificação internacional de processos, desponta como tendência para a legitimação das práticas sustentáveis no setor, visto que empresas que conseguem comprovar de forma transparente suas ações ambientais ampliam o acesso a mercados mais exigentes e consolidam sua imagem institucional perante investidores (Silva, 2018).

As perspectivas para a próxima década indicam que a sustentabilidade na metalurgia será cada vez mais vinculada ao conceito de inovação verde, em que a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico estarão voltados para a criação de processos que utilizem menos recursos, emitam menos poluentes e sejam capazes de se integrar de forma harmônica ao ciclo produtivo global (Rodrigues, 2018).

O fortalecimento de parcerias entre universidades, centros de pesquisa e indústrias são muito importantes nesse avanço, permitindo que o conhecimento científico seja rapidamente transferido para a prática industrial, criando um ambiente favorável para a consolidação de processos produtivos mais limpos e sustentáveis em escala nacional e internacional (Zilli et al., 2016).

A pressão regulatória internacional, aliada às metas globais de neutralidade de carbono, reforça que a sustentabilidade na metalurgia não se trata de uma tendência passageira, mas de uma exigência estrutural que condicionará a permanência das empresas no mercado, exigindo delas adaptação, inovação contínua e compromisso efetivo com a gestão ambiental (ANEME, 2021).

Assim, os avanços tecnológicos e as perspectivas que se apresentam para a sustentabilidade na metalurgia evidenciam que pequenas mudanças nos processos, quando inseridas em um contexto de inovação sistemática, são capazes de transformar profundamente o setor, tornando-o mais eficiente, competitivo e ambientalmente responsável, condição indispensável para a indústria do futuro (Carvalho et al., 2015).

### **3 METODOLOGIA**

A metodologia científica é fundamental na organização do estudo, pois orienta os procedimentos utilizados e garante a coerência entre o problema de pesquisa, os objetivos estabelecidos e os resultados a serem alcançados. Para Gil, o método é o caminho racional a ser seguido pelo pesquisador, funcionando como uma estrutura que dá sentido e validade ao processo investigativo (Gil, 2008).

De acordo com Lakatos, a escolha do método deve considerar a natureza do objeto de estudo e a especificidade da pesquisa, permitindo que a análise seja conduzida de forma sistemática e

consistente, sem desvios que comprometam a qualidade científica. Nesse sentido, a seleção de estratégias metodológicas deve estar alinhada à proposta de compreender a sustentabilidade na indústria metalúrgica a partir de pequenas mudanças nos processos produtivos (Lakatos, 2003).

O presente artigo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, por buscar soluções voltadas à prática industrial, e de natureza exploratória e descritiva, visto que procura identificar, compreender e detalhar como ajustes simples em processos metalúrgicos podem gerar impactos significativos na dimensão ambiental e econômica das empresas do setor (Gil, 2008).

Quanto à abordagem, optou-se pela natureza qualitativa, pois o foco está na interpretação de resultados e na construção de análises fundamentadas em diferentes experiências documentadas na literatura, sem a pretensão de quantificar estatisticamente os dados, mas sim de oferecer um panorama analítico sobre as práticas sustentáveis no setor metalúrgico (Lakatos, 2003).

Os procedimentos técnicos adotados concentram-se na pesquisa bibliográfica e documental, tendo como base dissertações, artigos científicos, relatórios técnicos e estudos de caso relacionados à sustentabilidade em indústrias metalúrgicas e metalomecânicas, possibilitando a sistematização de informações relevantes para a consolidação da discussão proposta (Gil, 2008).

A pesquisa bibliográfica, segundo Lakatos, é essencial para reunir e interpretar o conhecimento já existente, funcionando como um processo de seleção e análise crítica de contribuições que possam subsidiar a compreensão do fenômeno estudado. Já a pesquisa documental permite o acesso a informações originais, muitas vezes pouco exploradas, enriquecendo a interpretação e oferecendo um olhar mais abrangente sobre a realidade investigada (Lakatos, 2003).

Para a análise, adotou-se o método dedutivo, que parte de conceitos gerais sobre sustentabilidade e gestão ambiental e avança para a interpretação específica dos impactos gerados pelas pequenas mudanças em processos metalúrgicos, facilitando a conexão entre teoria e prática de forma lógica e fundamentada (Lakatos, 2003).

O tratamento dos dados ocorreu por meio da leitura crítica e da síntese interpretativa, com a organização das informações em eixos temáticos que possibilitaram a discussão integrada dos diferentes estudos, assegurando uma análise estruturada e alinhada aos objetivos estabelecidos para a pesquisa.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A sustentabilidade na indústria metalúrgica pode ser promovida de forma efetiva a partir de pequenas intervenções nos processos produtivos, que vão desde a redução de desperdícios até a otimização do uso de insumos, demonstrando que mudanças pontuais têm potencial de gerar transformações expressivas no desempenho ambiental e econômico das empresas (Zilli et al., 2016).

Pesquisas setoriais evidenciaram que a siderurgia brasileira, responsável por significativa parcela das emissões de gases de efeito estufa, tem avançado na implementação de práticas de eficiência energética, como o reaproveitamento de calor residual e o controle rigoroso da queima em altos-fornos, estratégias que reduzem custos e contribuem para a competitividade internacional (Carvalho et al., 2015).

Estudos de caso em empresas metalomecânicas mostraram que ações simples, como a correta segregação de resíduos e a melhoria na gestão de materiais auxiliares, resultaram em expressiva diminuição da quantidade de resíduos enviados a aterros industriais, confirmando que a sustentabilidade pode ser alcançada com medidas operacionais de baixo custo (Stumpf et al., 2018).

O levantamento de impactos ambientais em empresas do setor revelou que a principal dificuldade está no gerenciamento de resíduos sólidos, e que pequenas mudanças na forma de armazenamento, transporte e descarte reduziram riscos de contaminação de solo e água, melhorando a relação das empresas com órgãos fiscalizadores e comunidades locais (Silva, 2018).

Resultados semelhantes foram encontrados em estudos que aplicaram diagnósticos ambientais em indústrias de médio porte, onde a adoção de práticas de manutenção preventiva em máquinas e a substituição de insumos poluentes possibilitaram avanços significativos na redução de emissões, fortalecendo o compromisso ambiental das organizações (Rodrigues, 2018).

Na área da usinagem, verificou-se que a substituição de fluidos de corte convencionais por alternativas biodegradáveis, associada à implementação de sistemas de reciclagem e filtragem, reduziu de forma substancial o impacto ambiental do processo, além de gerar benefícios em saúde ocupacional e diminuição de custos de descarte (Constantino & Akamatsu, 2022).

Planos estratégicos voltados à sustentabilidade em pequenas e médias empresas indicaram que a adoção de medidas graduais, como a redução no consumo de água, o uso racional de energia e o incentivo à reciclagem, não somente melhoraram a performance ambiental, e também fortaleceram a competitividade das indústrias diante de mercados mais exigentes (ANEME, 2021).

Estudos institucionais destacaram ainda a importância da inovação tecnológica, mostrando que novas rotas de aproveitamento de coprodutos da siderurgia, como escórias utilizadas na construção civil e resíduos aplicados em pavimentação, configuram alternativas de elevado impacto ambiental positivo e viabilidade econômica para o setor (Gorgulho et al., 2025).

O reaproveitamento de sucata metálica emergiu como um dos resultados mais consistentes na literatura, sendo reconhecido como prática de grande retorno econômico e ambiental, visto que reduz a extração mineral, diminui o consumo energético e insere o setor em uma lógica de economia circular que favorece a sustentabilidade de longo prazo (Santos et al., 2015).

Os dados analisados confirmam que a gestão sustentável na metalurgia não depende exclusivamente de grandes investimentos, mas sim da incorporação de boas práticas de forma contínua

e estruturada, com resultados acumulativos que fortalecem tanto a eficiência produtiva quanto a reputação institucional das empresas (Zilli et al., 2016).

Os estudos também apontaram que a integração entre inovação tecnológica, gestão ambiental e engajamento organizacional gera um ambiente propício à consolidação de processos mais limpos, em que as empresas conseguem responder simultaneamente às demandas regulatórias, às expectativas sociais e às exigências do mercado internacional (Carvalho et al., 2015).

Em síntese, os resultados discutidos confirmam que pequenas mudanças em processos da indústria metalúrgica são capazes de produzir grandes impactos, tanto no desempenho econômico quanto na sustentabilidade ambiental, evidenciando que a combinação de ajustes técnicos e gerenciais representa um caminho viável e necessário para o fortalecimento do setor em um cenário global cada vez mais orientado para a responsabilidade socioambiental.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sustentabilidade na indústria metalúrgica não depende apenas de grandes transformações estruturais, mas pode ser fortalecida por pequenas mudanças em processos que, ao serem incorporadas de forma contínua, acumulam impactos significativos na preservação ambiental e na eficiência produtiva.

Constatou-se que práticas simples, como a melhoria na segregação de resíduos, a substituição de fluidos de corte convencionais por alternativas menos agressivas e a manutenção preventiva dos equipamentos, apresentam resultados expressivos quando aplicadas de forma sistemática, revelando que a sustentabilidade pode ser alcançada de maneira gradual e acessível.

A adoção de processos mais eficientes contribui para reduzir custos operacionais, ampliar a vida útil de insumos e aumentar a competitividade das empresas em mercados que valorizam iniciativas ambientais, demonstrando que sustentabilidade e lucratividade não são conceitos excludentes, mas complementares e interdependentes.

A pesquisa mostrou ainda que o reaproveitamento de sucata e a utilização de coprodutos industriais em outros setores configuram-se como estratégias de grande impacto, ao mesmo tempo em que fortalecem a economia circular e geram novas cadeias de valor, evidenciando que a inovação pode estar no uso criativo de materiais já existentes.

Identificou-se que a incorporação da sustentabilidade deve ser vista como parte do planejamento estratégico das empresas, uma vez que o alinhamento entre gestão ambiental, inovação tecnológica e engajamento organizacional amplia a legitimidade institucional e fortalece a imagem das indústrias junto a investidores, clientes e sociedade.

A transformação do setor metalúrgico em direção a práticas mais sustentáveis exige também maior integração entre pesquisa acadêmica e indústria, permitindo que soluções desenvolvidas em



centros de conhecimento sejam rapidamente aplicadas em escala produtiva, acelerando a transição para modelos de manufatura mais limpos e responsáveis.

As evidências confirmaram que pequenas mudanças, quando articuladas de forma planejada, podem desencadear grandes efeitos, revelando que a sustentabilidade deve ser encarada como um processo contínuo de aprimoramento, capaz de gerar benefícios econômicos, sociais e ambientais simultaneamente.

Em síntese, conclui-se que a indústria metalúrgica tem condições de tornar-se protagonista na agenda da sustentabilidade, desde que reconheça a importância de intervenções graduais e consistentes, adotando práticas simples que, somadas, produzem transformações duradouras e consolidam o setor como referência de inovação e responsabilidade ambiental.



## REFERÊNCIAS

ANEME, Associação Nacional das Empresas Metalúrgicas e Eletromecânicas. Estudo prospectivo sobre sustentabilidade e inovação para o setor da metalurgia e eletromecânica. Lisboa: ANEME, 2021.

CARVALHO, Pedro Sérgio Landim de; MESQUITA, Pedro Paulo Dias; ARAÚJO, Elizio Damião Gomes de. Sustentabilidade da siderurgia brasileira: eficiência energética, emissões e competitividade. Rio de Janeiro: BNDES, 2015.

CONSTANTINO, Luís Henrique; AKAMATSU, Eduardo. Usinagem e sustentabilidade: o uso dos fluidos de corte e seus impactos ambientais. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Anhanguera Educacional, 2022.

GORCULO, Cristiane Fernandes; OLIVEIRA, Silvia Souza de; LOBATO, Natalia Cristina Candian; MERLO, Panmela Pereira; BRUM, Mariana Coutinho. Radar tecnológico: metalurgia do ferro e do aço. Brasília: INPI, 2025.

RODRIGUES, Franciele. Diagnóstico ambiental em uma indústria metalomecânica. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

SANTOS, Lucas Almeida dos; MARZALL, Luciana Fighera; GODOY, Leoni Pentiado. (Re)aproveitamento de sucata no ramo metal-mecânico frente à sustentabilidade ambiental. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 19, n. 2, p. 830-847, 2015.

SILVA, Stephanye Thayanne da. Impactos ambientais de uma indústria metalomecânica: estudo de caso. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

STUMPF, Uitã Dutra; THEIS, Vanessa; SCHREIBER, Dusan. Gestão de resíduos sólidos em empresas metalomecânicas de pequeno porte. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 7, n. 2, p. 45-62, 2018.

ZILLI, Júlio Cesar; VIEIRA, Adriana Carvalho Pinto; GRZYCAK, Marcelo; SOUZA, Izabel Regina de; SPILLERE, Darlan. Práticas sustentáveis nas etapas de produção de uma indústria metal-mecânica do sul de Santa Catarina. Revista Ciências Exatas e Ambientais, v. 7, n. 2, p. 23-34, 2016.