

# REDUÇÃO DE QUEDA DE TARUGO NO TRANSPORTE COM ELETROÍMÃ: ESTUDO DE CASO EM PONTE ROLANTE NUMA SIDERÚRGICA

Breno Dutra dos Santos Andrade  
Danielly Barcellos Neves Barros  
Thiago da Cruz Barros  
Luis Gustavo Schröder e Braga

## RESUMO

O presente estudo analisou as causas e possíveis soluções para falhas no transporte de tarugos metálicos em uma indústria siderúrgica de Minas Gerais. O problema central identificado refere-se à queda recorrente de tarugos durante o manuseio por pontes rolantes equipadas com eletroímãs, evento que comprometia a segurança operacional e a eficiência produtiva. O trabalho teve como objetivo investigar as causas técnicas dessas falhas — como desgaste de componentes, instabilidade elétrica e ausência de sistemas de emergência — e propor medidas corretivas fundamentadas em normas técnicas e boas práticas de engenharia. A metodologia adotada foi o estudo de caso, com abordagem aplicada e quantitativa, permitindo correlacionar dados operacionais com soluções práticas. A modernização do sistema envolveu a instalação de um banco de baterias para manter a magnetização em situações de falha elétrica, a reconfiguração dos pantógrafos em ambos os lados da ponte rolante e a implementação de um plano detalhado de manutenção preventiva e corretiva. Os resultados mostraram a eliminação total das quedas de tarugos após as intervenções, comprovando a eficácia das medidas. A pesquisa conclui que a integração entre tecnologia, manutenção sistemática e conformidade às normas NR-10 e NR-11 é essencial para garantir segurança, confiabilidade e continuidade operacional. O estudo reforça a importância do planejamento técnico e da modernização de sistemas industriais como estratégias fundamentais para o aprimoramento da siderurgia brasileira.

**Palavras-chave:** Eletroímãs – Siderurgia - Manutenção.

## ABSTRACT

This study analyzed the causes and possible solutions for failures in the transportation of metal billets in a steel industry in Minas Gerais, Brazil. The central problem identified refers to the recurrent dropping of billets during handling by overhead cranes equipped with electromagnets, an event that compromised operational safety and productive efficiency. The objective of this work was to investigate the technical causes of these failures—such as component wear, electrical instability, and the absence of emergency systems—and to propose corrective measures based on technical standards and good engineering practices. The methodology adopted was a case study, with an applied and quantitative approach, allowing the correlation of operational data with practical solutions. The modernization of the system involved the installation of a battery bank to maintain magnetization in situations of electrical failure, the reconfiguration of the pantographs on both sides of the overhead crane, and the

implementation of a detailed preventive and corrective maintenance plan. The results showed the complete elimination of billet drops after the interventions, proving the effectiveness of the measures. The research concludes that the integration between technology, systematic maintenance, and compliance with NR-10 and NR-11 standards is essential to guarantee safety, reliability, and operational continuity. The study reinforces the importance of technical planning and the modernization of industrial systems as fundamental strategies for the improvement of the Brazilian steel industry.

**Keywords:** Electromagnets – Steel industry - Maintenance.

## 1 Introdução

A indústria siderúrgica é um dos pilares da economia brasileira. Em 2022, o setor produziu aproximadamente 34,1 milhões de toneladas de aço bruto (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2022), evidenciando sua relevância econômica e a necessidade de discutir os processos produtivos adotados, bem como os métodos que podem ser aprimorados para sustentar esse crescimento (SILVA, 2024).

A produção de “aço longo” ocorre de forma setORIZADA, segundo o modelo taylorista, com cada etapa responsável por um avanço específico até a obtenção do produto final. Desde a extração do minério até a laminação de tarugos, passando pelo uso de sucata, a eficiência operacional é essencial para minimizar perdas (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2018).

Nesse contexto, avalia-se a viabilidade do transporte de tarugos por cargas metálicas, o que demanda sistemas robustos e confiáveis para garantir segurança e produtividade. Entre os métodos disponíveis, destaca-se o uso de pontes rolantes com eletroímãs, que oferecem agilidade e flexibilidade na movimentação dos materiais.

A queda de tarugos durante o transporte por ponte rolante na siderúrgica em questão representa um problema recorrente, cuja causa principal, neste estudo, está associada à falha de imantação do eletroímã. Embora fatores operacionais, como pegar tarugos com temperatura superior ao recomendado pelo fabricante, com sujeira ou carepa na superfície, e problemas estruturais, como desgaste mecânico, falhas em componentes e ausência de sistemas de emergência, também contribuam para os incidentes, a instabilidade na alimentação elétrica do eletroímã se destaca como elemento crítico para a perda de aderência magnética.

A eficiência da imantação depende diretamente da constância da tensão aplicada ao eletroímã. Oscilações, quedas momentâneas ou interrupções abruptas

podem comprometer a força magnética necessária para manter os tarugos suspensos, especialmente em ambientes industriais sujeitos a sobrecargas, curtos-circuitos ou falhas nos sistemas de acionamento. A ausência de sistemas de retaguarda, como baterias de emergência ou fontes estabilizadas, agrava o risco de desmagnetização total ou parcial da carga.

Além disso, a obsolescência do sistema elétrico de acionamento do eletroímã, bem como as vibrações naturais de deslocamento da ponte, mas que geram perda de contato do pantógrafo com o barramento, causam flutuações indesejadas de tensão na entrada principal da ponte. Esses fatores, impactam diretamente o desempenho eletromagnético do sistema de içamento.

A análise realizada nesta pesquisa concentrou-se na correlação entre a estabilidade da tensão elétrica e a aderência magnética dos tarugos ao eletroímã. Foram avaliadas alternativas para mitigação das variações de tensão, como a implementação de fontes de alimentação redundantes, sistemas de monitoramento em tempo real e melhorias na infraestrutura elétrica da ponte rolante.

Embora a segurança operacional e a confiabilidade do processo continuem sendo objetivos centrais, este estudo enfatiza que a resolução das falhas de imantação exige uma abordagem de engenharia voltada à estabilidade elétrica, sem a qual os demais esforços de manutenção e operação tornam-se insuficientes para evitar quedas de carga.

## **2 Caracterização da organização**

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) será desenvolvido no contexto de uma empresa do setor siderúrgico de grande porte, com atuação global e presença significativa em diversos países. Trata-se de uma organização com elevado grau de integração industrial, voltada à produção de aços longos e planos de alta qualidade, utilizados em segmentos estratégicos como a indústria automotiva, construção civil, embalagens, eletrodomésticos, setor naval, entre outros.

A empresa em questão investe fortemente em inovação e desenvolvimento tecnológico, buscando constantemente tornar seus processos mais eficientes e sustentáveis. Com centros de pesquisa distribuídos em diferentes localidades e uma equipe técnica especializada, são desenvolvidas soluções que agregam valor ao produto final e atendem às exigências de mercados cada vez mais competitivos.

No Brasil, essa companhia possui unidades industriais em diferentes regiões do país, com uma estrutura robusta capaz de atender tanto à demanda interna quanto ao mercado externo. A produção de aço envolve uma cadeia integrada que inclui, além da transformação do minério, atividades complementares como mineração, geração de energia, produção de insumos renováveis e soluções em tecnologia da informação.

Um dos elementos centrais no processo de fabricação do aço são os tarugos — blocos de aço utilizados como matéria-prima para a produção de diversos tipos de perfis e chapas. O transporte interno desses materiais é realizado com o apoio de sistemas eletromagnéticos, que garantem segurança e eficiência logística dentro das plantas industriais. Esse controle sobre os insumos permite assegurar elevados padrões de qualidade ao longo de toda a produção.

A empresa também conta com uma ampla rede de distribuição, oferecendo ao mercado produtos e soluções adaptadas às necessidades da construção civil, da indústria em geral e do agronegócio. Além disso, destaca-se como fornecedora de componentes metálicos essenciais, como arames e cordoalhas, que têm papel estratégico em diversos setores da economia.

### **3 Referencial teórico**

#### **3.1 Transporte de tarugos com pontes rolantes e eletroímãs**

No aparato de equipamentos industriais necessários para que se obtenha o produto final do aço comercializável, o exercício de içamento de materiais demonstra-se necessário em diversas etapas. Dada a setorização do processo produtivo, no momento em que o material encontra-se em manuseio pelo estoque, em formato de tarugo, a utilização de pontes rolantes se demonstra a mais viável para suspensão do material, mesmo que de elevada inércia (FRACALOSSI; SANTOS, 2021).

O transporte seguro de tarugos depende da integridade dos equipamentos e da estabilidade do fornecimento elétrico. A ocorrência frequente de falhas exige uma abordagem sistêmica que considere tanto os aspectos técnicos quanto as melhores práticas de manutenção e modernização do sistema. As PR são utilizadas nos processos industriais com o objetivo de garantir a integridade do material manuseado e a segurança da área e dos colaboradores da operação. Para o caso em tela, trata-

se do transporte de materiais metálicos, planos e de grande extensão (BERARDI; GOMES, 2020).

Salienta-se que o transporte dos tarugos pela PR imantada depende diretamente da energização do sistema para garantir que os materiais não sofram quedas, especialmente em casos de falta de energia elétrica ou defeitos no circuito da PR (JESUS *et al*, 2023).

Uma descrição da operação dos eletroímãs no transporte das peças metálicas pode ser obtida conforme a definido por Jesus (*et al*, 2023):

Os sistemas de eletroímãs podem trabalhar em pares ou não, sendo geralmente sustentados por uma única travessa metálica apoiada em polias por meio de cabo de aço. Essa travessa possui olhais robustos soldados em sua estrutura que conectam os acessórios de içamento (lingas de corrente e manilhas) nos olhais soldados no corpo dos eletroímãs. Esses acessórios devem ser inspecionados para identificar possíveis falhas, como trincas e fadigas mecânicas causadas por atritos no momento de içamento e imantação da carga. Em muitos casos, as fadigas e desgastes de maior proporção ocorrem nas manilhas conectadas ao eletroímã.

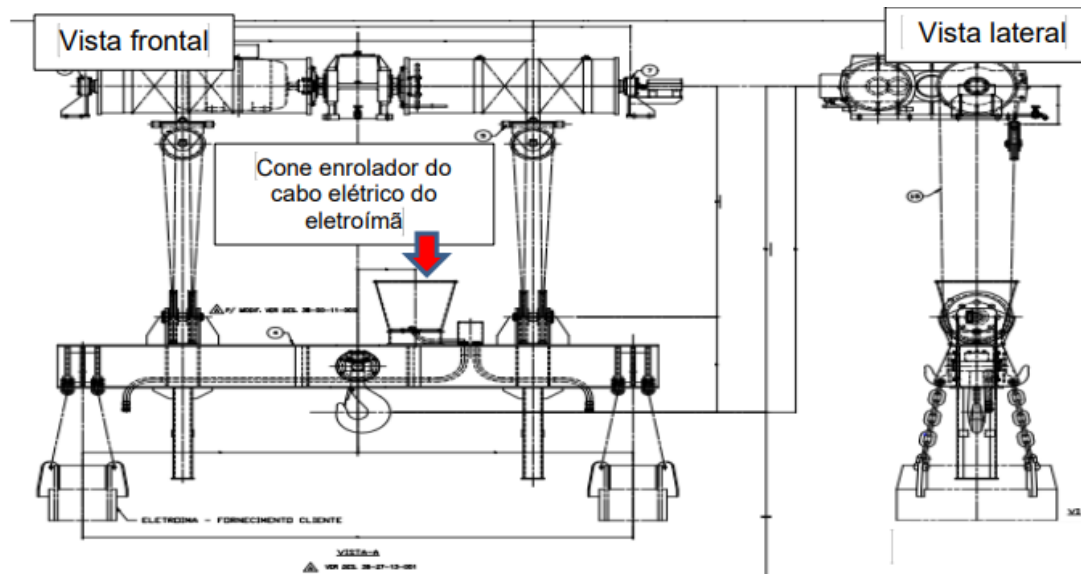
Esse sistema pode ser observado através das figuras 1 e figura 2:

**Figura 1** – Barra de carga com eletroímãs realizando o transporte de tarugos



Fonte: Jesus (*et al*, 2023)

**Figura 2** – Esquema de içamento de uma ponte rolante que opera com eletroímãs



Fonte: Jesus (et al, 2023)

### 3.2 Principais causas de queda de tarugos no transporte da ponte rolante

Nos sistemas de operação industrial onde existe a necessidade de suspensão em altura de materiais pesados, a literatura demonstra eficiência prática da utilização da PR com sistema de eletroímãs. A eficiência do processo depende da integridade do eletroímã, da estabilidade da alimentação elétrica e das condições dos componentes estruturais e elétricos do sistema.

No entanto, falhas na imantação dos tarugos podem ocorrer devido a diversos fatores técnicos que em suma são cruciais para o correto funcionamento do sistema: desgaste na soleira do eletroímã, falta de sistema de baterias de emergência considerando o sistema de eletroímãs convencional atualmente embarcado na ponte rolante, problemas de desgaste nas placas dos pantógrafos da ponte rolante, falta de equidistanciamento dos conjuntos trifásicos dos pantógrafos da ponte, danos nos cabos elétricos da alimentação dos eletroímãs considerando cortina de cabos, cesto recolhedor de cabos e barra de carga, onde, obsolescência do sistema de acionamento dos eletroímãs e curto - circuitos em cabos elétricos (JESUS *et al*, 2023).

### 3.3 Segurança e normas técnicas

A segurança no transporte de materiais em ambientes industriais é fundamental para garantir a integridade dos colaboradores, a eficiência produtiva e a

conservação dos equipamentos. No contexto do transporte de tarugos por meio de pontes rolantes com eletroímãs, diversas variáveis afetam a confiabilidade do sistema, podendo resultar na queda de cargas e ocasionar acidentes operacionais.

A segurança no transporte de cargas suspensas é regulamentada por diversas normas técnicas e diretrizes da engenharia de segurança do trabalho. A implementação de programas de manutenção preditiva e corretiva, conforme as normas aplicáveis, pode contribuir significativamente para a redução de falhas.

Para garantir a segurança das pontes rolantes de eletroímãs, a operação desses equipamentos – incluindo em indústrias de metalurgia – devem seguir as regulamentações legais da NR-11 (2009).

Por outro lado, tem-se a NR-10 (2019) que aborda acerca da conformidade dos painéis elétricos utilizados nas pontes rolantes. A não conformidade dos painéis elétricos com os requisitos da Norma NR10 apresenta grandes riscos operacionais em pontes rolantes com sistemas de imantação.

A norma estabelece, entre outros pontos, que os painéis devem possuir esquemas unifilares atualizados, dispositivos de proteção adequados e sinalização clara, conforme itens 10.2.3 e 10.2.4. Além disso, determina que o acesso a esses equipamentos deve ser restrito a profissionais habilitados, conforme o item 10.4.4.1.

A ausência dessas exigências pode resultar em falhas elétricas, como variações de tensão ou interrupções inesperadas na alimentação do eletroímã, comprometendo sua capacidade de imantação e aumentando o risco de queda dos tarugos durante o transporte.

### **3.4 Melhorias no sistema de transporte e modernização**

Os sistemas e painéis elétricos utilizados atualmente nas pontes rolantes que realizam o transporte de tarugos na empresa analisada podem ser considerados obsoletos. Atualmente, existem acionamentos de baixa tensão que podem ser utilizados para o acionamento de pontes rolantes que trabalham no transporte de tarugos, havendo a promessa de maior segurança.

A modernização dos sistemas de acionamento dos eletroímãs pode ser uma solução eficaz para mitigar os riscos operacionais. A adoção de controladores eletrônicos mais eficientes, sistemas de alimentação ininterrupta (UPS) e baterias de backup pode garantir a continuidade do funcionamento dos eletroímãs mesmo em

caso de falha na rede elétrica. Ainda, também é possível realizar a implementação de sistemas anti-colisão, *nobreak* e monitoramento operacional por telemetria (JESUS *et al*, 2023).

#### **4 Metodologia**

O presente trabalho contempla a realização de um estudo de caso na operação de uma empresa siderúrgica em Minas Gerais, buscando analisar o contexto operacional no que tange à utilização de pontes rolantes de eletroímãs para transporte de tarugos.

Para tanto, realizou-se uma análise do funcionamento na referida ponte na empresa e do projeto de viabilização de melhorias por ela promovido, verificando –se também a literatura para corroborar os achados e resultados práticos.

No que se relaciona a classificação metodológica, a presente pesquisa classifica-se quanto à natureza como sendo aplicada, objetivando que o conhecimento adquirido contribua para a promoção de uma melhoria real na empresa estudada (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Quanto à abordagem, classifica-se como sendo quantitativa, vez que utiliza-se da coleta e tratamento de dados (FAGUNDES, 2018) para verificar a possibilidade de intervenção com base na bibliografia mais recente acerca do tema.

#### **5 Resultados e discussões**

A análise dos resultados obtidos a partir do estudo de caso realizado na empresa siderúrgica demonstrou que as quedas de tarugos durante o transporte por ponte rolante equipada com eletroímãs eram um problema recorrente, afetando diretamente a confiabilidade operacional do ativo e a segurança dos colaboradores no raio de ação da carga no piso. Antes da implementação das melhorias, registrava-se uma média de quatro quedas mensais de tarugos, seja essas provocadas por anomalias mecânicas, mas principalmente elétrica.

Essas ocorrências estavam associadas ao desgaste das soleiras dos eletroímãs, curtos-circuitos nos cabos de alimentação dos eletroímãs, obsolescência o sistema de acionamento do eletroímã constituído por contadores de barra transversal

e aos afundamentos de tensão na alimentação principal do sistema, provocados pela vibração do pantógrafo no barramento de alimentação da ponte.

A observação detalhada do funcionamento do equipamento, associada à análise das condições elétricas e estruturais, permitiu constatar que o desgaste das soleiras dos eletroímãs reduzia a área efetiva de contato entre o eletroímã e o tarugo, comprometendo a distribuição uniforme do campo magnético e diminuindo significativamente a força de aderência. Além disso, a vibração constante da ponte gerava oscilações de tensão no barramento o que interrompia momentaneamente o fornecimento de energia ao sistema de acionamento do eletroímã, o que afetava a estabilidade do campo magnético e ocasionava a desmagnetização momentânea do eletroímã. Essa combinação de fatores resultava em uma frequência média de duas quedas semanais de tarugos, configurando um cenário crítico em performance da ponte rolante.

Diante desse diagnóstico, foi elaborado e executado um pacote de melhorias técnicas e operacionais voltado à eliminação das causas das falhas. As intervenções envolveram a modernização do sistema de acionamento dos eletroímãs, com a instalação de um banco de baterias com atuação automática em situações de afundamento de tensão ou falha total de energia elétrica. Essa redundância de alimentação garantiu que, mesmo em momentos de instabilidade da rede, os eletroímãs permanecessem energizados, evitando a perda súbita de magnetismo e, conseqüentemente, a queda dos tarugos.

**Figura 3 – Painel elétrico de acionamento**



Fonte: acervo do autor, 2025

**Figura 4 – Banco de baterias**



Fonte: acervo do autor, 2025

**Figura 5** – sistema de carregamento de baterias



Fonte: acervo do autor, 2025

**Figura 6** – Retificador para alimentação de eletroimã



Fonte: acervo do autor, 2025

Promovida também a modificação no sistema de alimentação elétrica da ponte, com a duplicação do conjunto de pantógrafos, sendo instalados um conjunto em cada lado da ponte. Essa alteração teve como objetivo minimizar os efeitos da vibração natural dos conjuntos além de assegurar a continuidade do fornecimento de energia. Com essa nova configuração, quando um dos pantógrafos sofre deslocamento por vibração, o outro mantém contato estável com o barramento, evitando interrupções momentâneas de corrente e garantindo maior estabilidade da tensão, durante o deslocamento da ponte, conforme figuras 7 e 8.

**Figuras 7 e 8 – Sistema de alimentação elétrico modificado**



**Fonte:** acervo do autor, 2025.

Além das melhorias realizadas nos sistemas elétricos relacionados ao acionamento do eletroímã, foi implementado no âmbito da confiabilidade do ativo, um novo plano de manutenção carregado no sistema SAP da empresa, com operações visando o acompanhamento periódico dos componentes do sistema ao longo do tempo principalmente aqueles de maior desgaste, diagnosticando de forma preditiva anomalias que apontam para um evento de falha. Para tal, o plano mensal de inspeção do sistema de imantação prevê a medição dos eletroímãs, confrontando dados de placa chave do fabricante com valores atuais medidos, sendo estes: Valor da resistência do enrolamento do eletroímã, isolamento da bobina com sua carcaça de aço, corrente e tensão atual fornecida pelo sistema de imantação.

No âmbito elétrico, passaram a ser realizados ensaios com megômetro para verificar o isolamento entre bobina e carcaça, além da utilização de multímetro para medição da resistência da bobina do eletroímã, a fim de identificar uma possível alteração no valor ôhmico e por consequência enfraquecimento do campo. Os eletroímãs aplicados no sistema estudado, possui bobina com resistência de 3,5Homs e isolação de 1GMhoms alimentados em 110VCC gerando uma corrente de 32A. Foi observado uma leve variação nos valores medidos no período acompanhado, mas que até o final do estudo não comprometeram a performance do eletroímã, mas que gera uma perspectiva de eventual falha, conforme figura 9, 10 e 11.

**Figura 9** – dados de referência



**Figura 10** – Medição da Resistência de Isolamento 1,31GΩ



Fonte: acervo do autor, 2025

**Figura 11, 12 e 13** : Medição da Resistência 3,8Ω, Corrente 34,5ª e Tensão 110,5VDC



Fonte: acervo do autor, 2025

Para a verificação do banco de baterias, foi implantada a utilização de um instrumento dedicado para verificação a integridade das baterias, sendo este teste realizado para cada uma das 10 baterias da composição, informando ao inspetor cinco status de vida útil da bateria, iniciando por “Bateria Boa” até “Bateria Ruim – Substituir”, junto a essa verificação, também é inspecionado o CCA da bateria (*Cold Cranking Ampere* - Corrente de Arranque a Frio) e ainda a capacidade de carga da bateria, além da verificação do estado atual das baterias, também foi adicionada a verificação da tensão de carregamento do banco de baterias considerando como aceitável, valores na faixa de 13,5VDC a 4,5VCD.

**Figura 14, 15 e 16** – tensão de carregamento da bateria: 14,5, status da bateria: bateria boa – 87200CCA da nominal 900, capacidade da bateria: 96% de 100%



**Fonte:** acervo do autor, 2025.

No aspecto mecânico, as inspeções passaram a incluir medições de desgaste das soleiras utilizando escala e esquadro, com tolerância máxima de 10 mm em cada lateral, além da verificação do estado dos olhais de içamento. Essas medidas preventivas garantiram de forma preditiva, maior controle sobre a integridade física dos eletroímãs e por consequência as trocas preventivas destes ativos.

Os resultados obtidos após a aplicação do pacote de melhorias foram extremamente positivos. O número de quedas de tarugos reduziu-se a zero, evidenciando a eficácia das ações implementadas. O banco de baterias assegurou a estabilidade da magnetização mesmo durante quedas momentâneas de tensão, enquanto a nova configuração dos pantógrafos eliminou as interrupções de energia

que anteriormente comprometiam o processo. O conjunto dessas intervenções proporcionou não apenas maior confiabilidade operacional, mas também uma redução significativa de riscos à integridade física dos operadores e dos equipamentos.

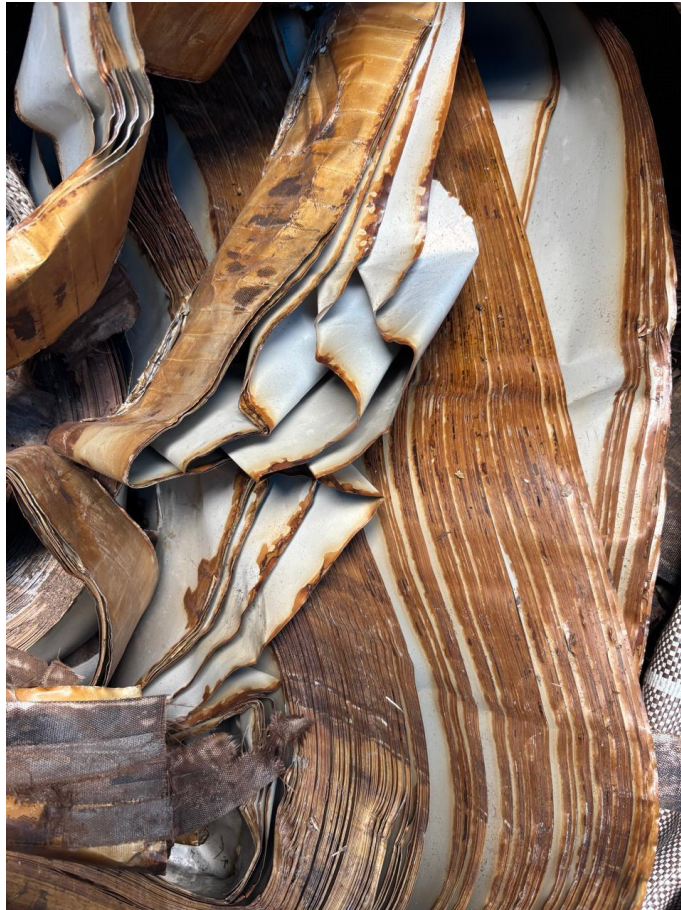
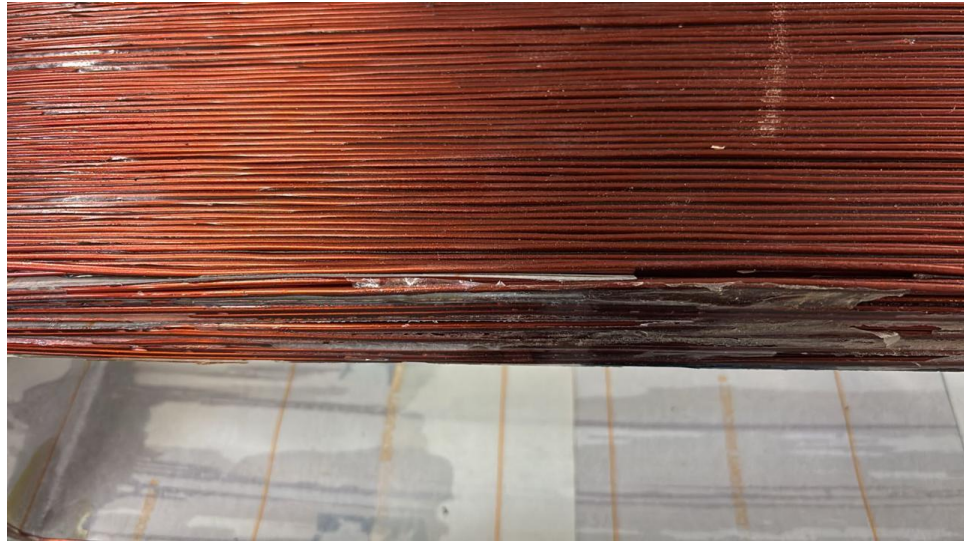
De modo geral, os resultados reforçam a importância da integração entre as soluções elétricas, mecânicas e operacionais em sistemas industriais complexos. A experiência obtida demonstra que a simples substituição de componentes não é suficiente para garantir o desempenho ideal — é necessário um planejamento integrado que envolva diagnóstico técnico detalhado, redundância de sistemas e manutenção preventiva rigorosa. A aplicação combinada dessas práticas, somada à modernização do sistema de alimentação e à adequação dos componentes estruturais, mostrou-se decisiva para eliminar definitivamente as quedas de tarugos e elevar o nível de segurança operacional no ambiente siderúrgico.

### **5.1 Melhoria dos eletroímãs**

A implementação das melhorias no projeto e na fabricação das bobinas dos eletroímãs apresenta benefícios significativos sob os aspectos técnicos e de segurança. As modificações propostas asseguram maior eficiência energética, confiabilidade do sistema e adequação às normas de qualidade e segurança aplicáveis à engenharia elétrica.

A substituição das bobinas confeccionadas em folhas de alumínio por bobinas em cobre PPE promove aumento da condutividade elétrica e redução das perdas por efeito Joule. Como resultado, os eletroímãs passam a atingir capacidade de içamento de até 20 toneladas, superando o limite anterior de 18 toneladas. Essa melhoria contribui diretamente para o aumento da eficiência operacional do equipamento, conforme as recomendações da ABNT NBR 5410:2020, que trata da segurança em instalações elétricas de baixa tensão, conforme figuras 15 e 16.

**Figura 17 e 18 - Bobinas.**



Fonte: acervo do autor, 2025.

A aplicação de manta térmica e resina isolante bi-componente com resistência térmica de até 950 °C proporciona uma elevação significativa na resistência térmica e confiabilidade operacional das bobinas. Tais materiais evitam falhas por superaquecimento e garantem estabilidade durante longos períodos de

funcionamento contínuo, atendendo aos critérios de isolamento térmico definidos pela ABNT NBR 9326:2012 – Isolantes elétricos sólidos orgânicos.

Além disso, a utilização de terminais, cabos e guias em conformidade com a classe térmica e a corrente nominal exigidas assegura que todo o sistema opere dentro dos limites de temperatura e isolamento adequados. Essa conformidade reduz riscos de falhas elétricas e aumenta a segurança dos operadores, em alinhamento com a ABNT NBR 5419:2015, que aborda proteção contra descargas atmosféricas e critérios de aterramento industrial.

De forma geral, as melhorias propostas permitem:

- Aumento da eficiência e potência dos eletroímãs;
- Maior resistência térmica e elétrica dos componentes;
- Adequação às normas técnicas vigentes;
- Redução de falhas e custos de manutenção;
- Maior durabilidade e segurança operacional.

Dessa forma, o conjunto de ações implementadas garante não apenas conformidade técnica com os padrões de engenharia elétrica, mas também ganhos expressivos em desempenho e confiabilidade do processo produtivo.

### **Considerações finais**

A partir da análise e execução do pacote de melhorias na ponte rolante equipada com eletroímãs, conclui-se que a eliminação das quedas de tarugos foi resultado direto da integração entre modernização tecnológica e gestão de manutenção. As falhas que anteriormente resultavam em cerca de oito quedas mensais foram totalmente erradicadas após a implementação de medidas voltadas à estabilidade elétrica, à redundância de alimentação e à padronização das inspeções técnicas. Entre as intervenções mais eficazes destacam-se a instalação do banco de baterias para suprimento de energia em situações de afundamento de tensão, a reconfiguração dos pantógrafos — agora dispostos em ambos os lados da ponte — e a adoção de um plano de manutenção detalhado e contínuo.

A modificação dos pantógrafos representou uma solução prática e eficiente para a principal causa elétrica de falha, eliminando interrupções momentâneas de energia e garantindo a continuidade da magnetização. Essa intervenção, combinada

ao banco de baterias e às novas práticas de manutenção elétrica e mecânica, assegurou o funcionamento ininterrupto dos eletroímãs e a total confiabilidade do sistema de transporte de tarugos. A partir dessas melhorias, o processo tornou-se mais seguro, estável e eficiente, eliminando completamente as quedas e elevando o padrão de segurança operacional da planta industrial.

A experiência adquirida reforça a importância da manutenção preditiva, do monitoramento constante dos sistemas elétricos e da busca por tecnologias de redundância que assegurem a continuidade dos processos industriais mesmo diante de variações na rede elétrica.

Dessa forma, o trabalho realizado evidencia que a combinação entre tecnologia, planejamento e boas práticas de engenharia é o caminho mais eficaz para a prevenção de falhas e o fortalecimento da confiabilidade operacional em ambientes siderúrgicos. As melhorias implementadas neste estudo de caso podem servir de referência para outras unidades industriais que utilizem sistemas de transporte magnético, contribuindo para a disseminação de soluções seguras, eficientes e sustentáveis no setor.

## Referências Bibliográficas

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 5410:2020 – Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 5419:2015 – Proteção contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 9326:2012 – Isolantes elétricos sólidos orgânicos – Classificação térmica. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

**BERARDI, F. P.; GOMES, A. R.** Análise preliminar de riscos em uma ponte rolante de 3 toneladas: falhas operacionais e mecânicas. *Revista Interdisciplinar Pensamento Científico*, v. 6, n. 1, 2020.

**BRASIL.** Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria nº 121 – Norma Regulamentadora nº 11 – Transporte, movimentação, armazenagem, e manuseio de materiais, 2009.

**BRASIL.** Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria SIT nº 787 – Norma Regulamentadora nº 10 – Trabalho com instalações elétricas, 2019.

**FAGUNDES, K. N. M.** Análise das variáveis do processo de laminação e a correlação com a ocorrência de defeitos no fio-máquina. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

**FRACALOSSI, L. G. V.; SANTOS, W. M.** Frenagem regenerativa na indústria: um estudo de caso em pontes rolantes. *Brazilian Journal Development*, Curitiba, v. 7, p. 44.128-44.141, 2021.

**GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T.** Métodos de pesquisa. 5. ed. Rio Grande do Sul: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. p. 45-47.

**INSTITUTO AÇO BRASIL.** Indicadores de mercado: estatísticas de desempenho. 2022. Disponível em: <<https://www.acobrasil.org.br/site/sobre-o-instituto/>>. Acesso em: maio 2025.

**INSTITUTO AÇO BRASIL.** Relatório de sustentabilidade. 2018. Disponível em: <[https://www.acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2019/06/2018\\_relatorio-de-sustentabilidade.pdf](https://www.acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2019/06/2018_relatorio-de-sustentabilidade.pdf)>. Acesso em: maio 2025.

**JESUS, C. F.; ALVES, L. E. B. C.; DUARTE, L. A. G.; BARCELOS, J. B.; BARROS, T. C.; RODRIGUES, L. I.; RIBEIRO, M. M.; DIVINO, J. C. E.; PAULO, C. E. E.; SOUSA, G. H.** Segurança em transportes de tarugos em pontes rolantes de eletroímãs. In: *76º Congresso Anual da ABM*, São Paulo, 2023.

**SILVA, E. M. B.** Aplicação do modelo de transporte em uma empresa siderúrgica. Departamento de Engenharia de Produção da UFP, Recife, 2024.