ConBRepro
XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
EVENTO ON-LINE
02 a 04 de dezembro de 2026
Inovação e Transformação Digital como Estratégia Competitiva nas Engenharias

Análise das principais causas geradoras de desperdícios no processo de fabricação de fios esmaltados de cobre por meio da aplicação de ferramentas do Lean Manufacturing

Lívia Maria Avigo
Centro Universitário Da Fundação Educacional Guaxupé - Unifeg
Marcelo dos Santos Kawakame
Centro Universitário Da Fundação Educacional Guaxupé - Unifeg

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo analisar as principais causas geradoras de desperdícios no processo de fabricação de fios esmaltados de cobre por meio da aplicação de ferramentas do Lean Manufacturing. A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, de natureza aplicada, com abordagem quantitativa, realizado em uma indústria metalúrgica fabricante de fios de cobre esmaltados. Os dados de produção e sucata foram coletados e analisados com o objetivo de identificar os principais fatores responsáveis pelas perdas produtivas. Para a priorização dos problemas foram utilizadas ferramentas como Diagrama de Pareto, indicadores de desempenho e Relatório A3. A partir dos resultados obtidos, foram implementadas ações voltadas à padronização de processos, reorganização do fluxo produtivo, implantação da sistemática FIFO, gestão visual dos indicadores e melhoria das condições operacionais do setor. Embora não tenham sido observadas reduções quantitativas expressivas nos índices de sucata durante o período analisado, verificaram-se avanços relacionados à organização do processo, padronização operacional, maior envolvimento das equipes na identificação das causas dos problemas e melhoria na qualidade das informações utilizadas para tomada de decisão. Os resultados demonstram que a aplicação das ferramentas Lean contribui para o fortalecimento da cultura de melhoria contínua e para o desenvolvimento de bases mais consistentes para futuras iniciativas de redução de desperdícios.

Palavras-chave: Lean Manufacturing. Desperdícios. Fios esmaltados. Melhoria contínua. Indicadores de desempenho.

Analyzing the main causes of waste in copper enameled wire manufacturing using Lean Manufacturing tools

Abstract: This study aims to analyze the main causes of waste in the copper enameled wire manufacturing process through the application of Lean Manufacturing tools. The research is characterized as an applied, quantitative case study conducted at a metallurgical industry that manufactures enameled copper wires.Production and scrap data were collected and analyzed to identify the primary factors responsible for production losses. Tools such as the Pareto Chart, performance indicators, and the A3 Report were used to prioritize the issues. Based on the results, actions were implemented to standardize processes, reorganize the production flow, establish the FIFO methodology, implement visual management of indicators, and improve operational conditions within the sector. Although significant quantitative reductions in scrap rates were not observed during the analyzed period, advancements were noted regarding process organization, operational standardization, greater team engagement in root-cause identification, and improved data quality for decision-making. The results demonstrate that the application of Lean tools contributes to

strengthening the continuous improvement culture and building a more solid foundation for future waste reduction initiatives.

Keywords: *Lean Manufacturing. Waste. Enameled wire. Continuous improvement. Performance indicators.*

1. Introdução

O aumento da competitividade no setor industrial e maior exigência dos clientes demandam das organizações uma maior eficiência produtiva e diminuição contínua de custos. Nesse contexto, a indústria de produção de cobre, especialmente na área de fabricação de fios esmaltados, enfrenta desafios relacionados a perdas de material, retrabalho e alta geração de sucata, que impactam diretamente nos resultados da operação.

A indústria do cobre no Brasil possui caráter estratégico, sendo fundamental para o desenvolvimento da infraestrutura de energia, mobilidade elétrica e consolidação da transição energética. Com produção concentrada nos estados do Pará e de Goiás, o país responde por cerca de 1% da produção global do metal.

Além disso, estima-se que o setor atraia bilhões de dólares em novos investimentos voltados à expansão e transição energética nos próximos anos (IBRAM, 2024), com foco na oferta de cobre de alta condutividade para aplicação em motores, redes de distribuição e condutores elétricos.

O setor do cobre envolve desde aplicações industriais, pois é essencial em cabos de energia, transformadores, motores, motores elétricos, eletrônicos, construção civil e transporte. Além disso tem um papel preponderante na transição energética, ou seja, com o aumento da demanda está atrelado à necessidade de eficiência energética e redução de emissões, com o cobre sendo vital para a infraestrutura de energias renováveis.

Portanto novos investimentos devem ser planejados juntamente com a busca por eficiência na produção de produtos com alto valor agregado, indo de encontro as necessidades do setor e de toda cadeia produtiva.

O processo de fabricação dos fios esmaltados envolve etapas como recozimento, trefilação e aplicação do esmalte isolante com cura térmica, o que exige um controle rigoroso a partir de parâmetros de processo e alto controle de qualidade para garantia do bom desempenho do produto final.

O cobre, principal matéria-prima utilizada nesse processo, possui alto valor agregado, e, além dele, o verniz aplicado, a energia gasta, a mão de obra e os demais recursos que compõem a produção do fio, tornam essencial o controle rigoroso dos desperdícios durante a fabricação.

Assim, a utilização de uma base de dados robusta e incisiva da produção torna-se uma ferramenta estratégica e essencial para identificação das falhas, otimização dos processos e de grande apoio durante a tomada de decisão.

Diante disso, surge a necessidade de aplicar o Lean Manufacturing, uma metodologia que auxilia na diminuição ou eliminação de desperdícios, cujo foco está na minimização do uso de recursos para maximização de valor e melhoria contínua (WOMACK; JONES, 2004).

Nesse contexto, o presente trabalho busca resolver à seguinte problemática: como a análise de dados de produção pode auxiliar na identificação e redução de desperdícios na fabricação de fios esmaltados por meio do Lean Manufacturing?

A partir da identificação dos principais fatores responsáveis pelas perdas observadas, pretende-se implementar ou sugerir para temas futuros ações de melhoria voltadas à padronização dos processos, organização do fluxo produtivo e fortalecimento da cultura de melhoria contínua. Espera-se, com isso, contribuir para o aumento da eficiência operacional e para o aprimoramento das práticas de gestão dos desperdícios no ambiente industrial.

2. Referencial Teórico

O Lean Manufacturing, também conhecido como Produção Enxuta, é uma filosofia de gestão originada a partir do Sistema Toyota de Produção, desenvolvido no Japão após a Segunda Guerra Mundial. Seu principal objetivo consiste na eliminação sistemática dos desperdícios presentes nos processos produtivos, buscando maximizar o valor agregado ao cliente por meio da utilização eficiente dos recursos disponíveis.

Segundo Womack, Jones e Roos (2004), a Produção Enxuta representa uma abordagem capaz de produzir mais com menos recursos, reduzindo atividades que não agregam valor ao produto final. Essa filosofia baseia-se na melhoria contínua dos processos, na redução de perdas e na busca constante pela eficiência operacional. De acordo com Ohno (1997), os desperdícios são responsáveis pelo aumento dos custos produtivos e pela redução da competitividade das organizações.

Dessa forma, a identificação e eliminação dessas perdas tornam-se fundamentais para a melhoria do desempenho dos sistemas produtivos. Liker (2005) complementa que a aplicação dos princípios Lean não se limita apenas à utilização de ferramentas específicas, mas envolve a criação de uma cultura organizacional voltada para a solução de problemas, melhoria contínua e desenvolvimento das pessoas.

Diante disso, o Lean Manufacturing apresenta-se como uma abordagem adequada para o estudo dos desperdícios presentes no processo de fabricação de fios esmaltados, permitindo identificar oportunidades de melhoria e apoiar a tomada de decisão baseada em dados.

A eliminação de desperdícios constitui um dos principais pilares dessa abordagem. Segundo Ohno (1997), desperdício pode ser definido como qualquer atividade que consome recursos sem agregar valor ao produto ou ao cliente.

Tradicionalmente, a literatura classifica os desperdícios em sete categorias: superprodução, espera, transporte, processamento desnecessário, movimentação, estoques excessivos e defeitos. Entre esses desperdícios, os defeitos possuem grande relevância em ambientes industriais por resultarem em retrabalho, sucata e perdas de matéria-prima.

No setor de esmaltação de fios de cobre, os desperdícios podem estar relacionados a fatores como falhas operacionais, problemas de processo, movimentações desnecessárias, defeitos na matéria-prima e condições inadequadas de operação. Tais fatores contribuem diretamente para o aumento da geração de sucata e para a redução da eficiência produtiva. A identificação das principais causas de desperdício permite direcionar esforços para ações de melhoria com maior potencial de impacto nos resultados organizacionais.

Para que o mapeamento e a eliminação desses desperdícios sejam efetivos, a utilização de indicadores de desempenho constitui uma importante ferramenta de monitoramento e controle dos processos produtivos. Por meio da coleta e análise de dados, torna-se possível identificar desvios, compreender o comportamento dos processos e apoiar decisões voltadas à melhoria contínua.

Segundo Carpinetti (2016), os indicadores de desempenho fornecem informações relevantes para a gestão dos processos, permitindo avaliar resultados e acompanhar a eficácia das ações implementadas. No contexto industrial, a análise de dados possibilita identificar padrões de ocorrência de falhas, quantificar perdas produtivas e priorizar oportunidades de melhoria, fazendo com que a tomada de decisão passe a ser fundamentada em evidências objetivas e reduzindo a dependência de percepções subjetivas.

A utilização de indicadores relacionados à produção e à sucata torna-se particularmente relevante em processos de fabricação de fios esmaltados, nos quais pequenas variações operacionais podem gerar impactos significativos na qualidade do produto e nos custos produtivos. Aliadas aos indicadores, as ferramentas da qualidade são amplamente utilizadas para a identificação, análise e solução desses problemas no ambiente produtivo, contribuindo para a compreensão de suas causas raízes e para a definição de ações corretivas e preventivas.

Entre essas ferramentas, está o Diagrama de Pareto, que é uma das ferramentas mais utilizadas para a priorização de problemas (CARPINETTI, 2016). Baseado no princípio 80/20, permite identificar as causas que exercem maior influência sobre determinado resultado, direcionando os esforços para os fatores mais relevantes.

Outra ferramenta amplamente utilizada é o Relatório A3, desenvolvido a partir dos conceitos do Sistema Toyota de Produção (LIKER, 2005; FERREIRA; ALMEIDA; COSTA, 2024). O A3 consiste em um método estruturado para análise de problemas e gestão de melhorias, reunindo

informações relacionadas à situação atual, análise das causas, definição das ações e acompanhamento dos resultados.

Complementando esse conjunto de técnicas, a gestão visual desempenha papel importante na disseminação das informações operacionais e no acompanhamento dos indicadores de desempenho. Por meio da exposição clara dos resultados e metas, torna-se possível aumentar o envolvimento das equipes e fortalecer a cultura de melhoria contínua.

Dessa forma, a combinação entre indicadores, Diagrama de Pareto e Relatório A3 constitui uma abordagem adequada para apoiar a identificação e o tratamento das causas geradoras de desperdícios em processos industriais.

Paralelamente ao uso de ferramentas analíticas da qualidade, a organização do fluxo e do manuseio de materiais exige metodologias específicas de controle, como o sistema FIFO (*First In, First Out*). Traduzido como "primeiro que entra, primeiro que sai", o FIFO é um método de organização e controle dos estoques que estabelece como princípio a utilização prioritária dos materiais que foram armazenados primeiro, mantendo uma sequência lógica de movimentação e evitando que itens permaneçam armazenados por períodos superiores aos necessários.

No contexto da produção enxuta, o FIFO está diretamente relacionado à organização do fluxo de materiais e à redução de desperdícios associados ao excesso de estoque, movimentações desnecessárias e dificuldades de controle. Segundo Ohno (1997), a organização do fluxo produtivo é fundamental para a identificação e eliminação de atividades que não agregam valor ao processo.

De acordo com Liker (2005), a produção enxuta busca estabelecer fluxos contínuos e organizados, de modo que os materiais avancem pelo processo produtivo de maneira previsível e conforme a necessidade. Nesse sentido, a utilização do FIFO contribui para proporcionar maior visibilidade sobre a sequência dos materiais, facilitar o controle do estoque e reduzir a possibilidade de materiais mais antigos permanecerem armazenados enquanto materiais mais recentes são utilizados.

Além dos benefícios relacionados ao controle de estoque, a aplicação do FIFO pode contribuir para a melhoria da organização física dos materiais e para a padronização da movimentação entre as etapas do processo produtivo, auxiliando na redução de movimentações desnecessárias e na melhoria do fluxo de produção.

No presente estudo, a sistemática FIFO foi aplicada como uma das ações de melhoria relacionadas à organização do fluxo produtivo e à movimentação de materiais entre os processos de trefilação e esmaltação, tendo como finalidade melhorar a organização do estoque, estabelecer uma sequência de utilização dos materiais e proporcionar maior controle sobre o fluxo produtivo.

3. Metodologia

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, pois busca gerar conhecimentos voltados à solução de um problema real observado em ambiente industrial. Quanto aos objetivos, classifica-se como exploratória e descritiva, uma vez que procura compreender as principais causas de geração de sucata no processo de esmaltação de fios de cobre e propor ações de melhoria fundamentadas nos princípios do Lean Manufacturing.

A abordagem adotada é quantitativa, considerando a utilização de dados de produção, registros de sucata e indicadores operacionais para análise do desempenho do processo. Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa foi desenvolvida por meio de um estudo de caso realizado em uma indústria metalúrgica fabricante de fios esmaltados de cobre.

3.1 Planejamento da Pesquisa

O estudo teve início a partir da identificação de elevados índices de sucata no setor de esmaltação. A análise preliminar indicou oportunidades relacionadas à padronização operacional, entendimento das causas de falhas, movimentação de materiais, treinamento de operadores e monitoramento dos indicadores de desempenho.

Com base nesse cenário, definiu-se como objetivo principal identificar as principais causas geradoras de sucata, estruturar e implementar ações de melhoria voltadas à redução dos

desperdícios presentes no processo produtivo, considerando o período disponível para realização do projeto.

3.2 Coleta dos Dados

Os dados utilizados na pesquisa foram obtidos por meio dos registros internos da empresa, contemplando informações de produção, sucata e motivos de falha registrados nas máquinas de esmaltação.

O período analisado compreendeu os meses de fevereiro a maio de 2026, permitindo avaliar o comportamento do processo e identificar os principais fatores associados à geração de perdas produtivas.

Além dos dados quantitativos, foram realizadas observações diretas do processo produtivo, reuniões com supervisores e operadores e levantamento de informações relacionadas às rotinas operacionais do setor.

3.3 Tratamento e Análise dos Dados

Após a coleta, os dados foram organizados e estratificados de acordo com os motivos de sucata registrados pela operação. Em seguida, foi aplicada a ferramenta Diagrama de Pareto para identificação das principais causas responsáveis pela maior parcela das perdas observadas.

Também foram elaborados indicadores de desempenho relacionados à geração de sucata por máquina e por tipo de defeito, permitindo maior visibilidade do comportamento do processo e facilitando a priorização das ações de melhoria.

A análise dos dados possibilitou identificar oportunidades relacionadas à liberação das máquinas, defeitos provenientes do fio nu, troca de bitolas, falhas na aplicação do esmalte e movimentação de materiais.

3.4 Planejamento e Implementação das Melhorias

Com base nos resultados obtidos, foi elaborado um Relatório A3 contendo a definição do problema, análise da situação atual, identificação das causas prioritárias e plano de ação para tratamento dos desperdícios identificados.

Entre as ações planejadas e testadas, destacam-se a proposta de padronização do processo de liberação das máquinas, a organização da sistemática FIFO para movimentação da matéria-prima, o estudo de adequação do fluxo entre os setores de trefilação e esmaltação, os testes de enclausuramento em máquinas de esmaltação, a implantação de indicadores visuais de acompanhamento da sucata e a realização de reuniões de alinhamento com as equipes operacionais.

Além disso, foram promovidas atividades de conscientização dos operadores sobre os impactos da geração de sucata e a importância do correto registro das ocorrências para análise das causas raízes.

3.5 Avaliação dos Resultados

A etapa final da pesquisa consistiu no acompanhamento dos indicadores e na avaliação dos efeitos gerados pelas ações implementadas e testadas.

Embora não tenham sido observadas reduções quantitativas expressivas nos índices de sucata durante o período analisado — devido ao encerramento do estudo em maio de 2026 e à ausência de uma série histórica posterior —, verificaram-se avanços qualitativos e organizacionais relevantes. Destacam-se a melhoria na organização do fluxo produtivo, a padronização das

atividades operacionais, a implantação do sistema FIFO, o aumento da visibilidade dos indicadores e o maior envolvimento da equipe na identificação das causas dos desperdícios.

Adicionalmente, observou-se evolução na qualidade das informações registradas, possibilitando maior assertividade na análise das causas de sucata e criando condições mais favoráveis para futuras ações de melhoria contínua.

4. Implementação das Melhorias

A partir da análise dos dados de produção e sucata, das observações realizadas no processo produtivo e das discussões realizadas com a supervisão e os operadores, foram definidas ações de melhoria com o objetivo de atuar sobre as principais causas identificadas. A implementação foi direcionada principalmente à organização do processo, padronização das atividades, melhoria da identificação das causas de desperdício e criação de condições para a continuidade do acompanhamento.

As ações foram estruturadas a partir das ferramentas utilizadas durante o estudo, especialmente a estratificação dos dados, o Diagrama de Pareto, o Relatório A3, a gestão visual e o *brainstorming* com a equipe operacional. A utilização conjunta dessas ferramentas permitiu relacionar os dados registrados às observações realizadas no processo e direcionar as ações para os pontos considerados prioritários.

4.1 Estratificação dos Motivos de Sucata

A primeira etapa da implementação consistiu na organização e estratificação dos registros de sucata das máquinas de esmaltação. Essa etapa foi necessária devido à existência de diferentes classificações de defeitos e à necessidade de melhorar a compreensão sobre as causas responsáveis pelas perdas.

Nas Esmaltadeiras Verticais (EV) analisadas, os registros demonstraram destaque para ocorrências relacionadas à liberação de máquina, defeitos provenientes do fio nu, troca de bitolas devido à ordem de produção, fio nu com farpas, fio nu manchado e formação de bolhas. Nas máquinas Esmaltadeiras Horizontais (EH), destacaram-se principalmente os defeitos relacionados a bolhas no esmalte e à sujeira, além de falhas na isolação e problemas dimensionais. Esses dados permitiram direcionar as ações para causas relacionadas tanto às etapas anteriores à esmaltação quanto às próprias condições do processo de esmaltar o fio. Conforme Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Estratificação dos motivos de sucata e suas quantidades nas Esmaltadeiras Verticais

Motivos de defeito em Evs 06, 07, 10, 12 e 14	Soma da quantidade de sucata	Percentual de sucata
Liberação de máquina (PCP)	2116,88	11,53%
Defeito fio nu (Processo trefila)	1809,2	9,85%
Troca de bitolas	1284,62	7,%
Defeito fio nu (Farpas)	1276,68	6,95%
Fio nu manchado	1104,36	6,01
Fio com bolhas (Esmalte)	907,51	4,94%

Fonte: Autores (2026)

Tabela 2 – Estratificação dos motivos de sucata e suas quantidades nas Esmaltadeiras Horizontais

Motivos de defeito em Ehs 014, 05 e 06	Soma da quantidade de sucata	Percentual de sucata
Fio com bolhas (Esmalte)	785,04	18,63%
Fio com bolhas (Sujeira)	596,92	14,16%

Falhas na isolação	373,28	8,86%
Dimensional esmaltado	223,26	7,8%
Fio colado	221,36	5,3%
Liberação de máquina PCP	183,64	5,25%

Fonte: Autores (2026)

A estratificação também evidenciou a necessidade de manter o acompanhamento contínuo dos registros, uma vez que a qualidade da informação utilizada na classificação dos defeitos influencia diretamente a capacidade de identificação da causa raiz. A própria equipe identificou como essencial a manutenção do registro correto das ocorrências para possibilitar o tratamento das não conformidades de maneira mais assertiva.

4.2 Padronização da Liberação das Máquinas

Uma das ações desenvolvidas foi a revisão e proposta de padronização do procedimento de liberação das máquinas. A análise dos dados indicou que a categoria “liberação de máquina” representava uma parcela relevante das perdas registradas, tornando necessário compreender melhor esse processo e buscar uma forma de reduzir a quantidade de material descartado durante a preparação e liberação dos equipamentos.

Foi realizado um teste pilotado na máquina EV11 com o objetivo de avaliar a possibilidade de realizar a liberação utilizando uma quantidade menor de material. A partir desse teste, foi elaborado um procedimento padronizado para a atividade.

Entretanto, durante o acompanhamento, identificou-se uma limitação operacional relacionada à disponibilidade de mão de obra necessária para manter a execução padronizada de maneira contínua. Dessa forma, apesar da padronização desenvolvida, registrou-se a necessidade de reavaliar o processo para garantir sua sustentabilidade operacional a longo prazo.

4.3 Enclausuramento na Aplicação do Esmalte

Outra ação desenvolvida esteve relacionada à ocorrência de bolhas no fio durante a aplicação do esmalte. A análise do processo indicou a influência de correntes de ar na região de aplicação do verniz, sendo desenvolvido um estudo para avaliar a utilização do enclausuramento como forma de estabilizar as condições do processo.

Inicialmente, realizou-se um teste na máquina EV11, prevendo-se a expansão da solução para as máquinas EV6, EV7, EV9, EV10 e EV12 caso os resultados fossem validados. Contudo, até o encerramento do período do projeto, a ação mantinha-se em fase de teste experimental, aguardando a consolidação da avaliação de sua eficácia.

Dessa forma, o enclausuramento é caracterizado neste trabalho como uma ação piloto em processo de avaliação, e não como uma melhoria com impacto quantitativo comprovado na redução da sucata.

4.4 Avaliação do Sistema de Recozimento

A análise dos registros também identificou a ocorrência recorrente de fio nu manchado nas máquinas de esmaltação. Durante a investigação, observou-se uma relação direta entre esse tipo de defeito e os equipamentos que não possuíam sistema de recozimento a vapor.

Como oportunidade de melhoria, avaliou-se a substituição do sistema de recozimento da máquina EV11. Entretanto, a implementação dessa alteração estava condicionada à desativação da EV08, o que não foi efetivado dentro do cronograma do projeto. Portanto, essa medida permaneceu como uma proposta de melhoria recomendada para ser executada em etapas futuras.

4.5 Gestão Visual e Acompanhamento da Geração de Sucata

A gestão visual foi adotada para aumentar a visibilidade das informações operacionais e estimular o engajamento da equipe fabril no acompanhamento dos resultados.

A proposta consistiu no desenvolvimento de quadros de acompanhamento visual para expor aos operadores os volumes de sucata gerados, favorecendo a conscientização sobre o impacto das perdas. Adicionalmente, foram estruturadas reuniões periódicas de alinhamento entre a supervisão e os operadores, aproximando a equipe de chão de fábrica do diagnóstico dos problemas e das propostas de solução.

4.6 Organização do Fluxo Produtivo e Movimentação de Materiais

A movimentação excessiva de materiais foi identificada como um desperdício relevante no levantamento inicial. Com base nisso, elaborou-se um estudo para a reorganização do *layout* focado na redução de deslocamentos desnecessários. Este estudo de *layout* permaneceu em fase de desenvolvimento conceitual, servindo como diretriz para futuras reestruturações físicas do setor.

Paralelamente, organizou-se e implementou-se a sistemática FIFO (*First In, First Out*) para a matéria-prima. A adoção dessa ferramenta padronizou a sequência de consumo dos materiais conforme a ordem de entrada, representando uma melhoria efetivamente consolidada na gestão do fluxo de estoque entre a trefilação e a esmaltação.

4.7 Brainstorming com a Equipe Operacional

Com o objetivo de valorizar o conhecimento prático dos colaboradores, foram realizados encontros de *brainstorming* com as equipes operacionais.

Dessas sessões emergiram propostas complementares de melhoria, tais como a adequação da iluminação do setor, o aumento na disponibilidade de insumos de limpeza, a intensificação das rotinas de manutenção preventiva e a reavaliação das escalas de turno. Essa abordagem participativa fortaleceu a análise qualitativa das causas raízes e estimulou a cultura de melhoria contínua.

4.8 Desenvolvimento de Indicadores Automáticos

Por fim, estruturou-se a criação de indicadores de sucata automatizados representados em gráficos comparativos por máquina e período.

Essa estrutura elevou a qualidade das informações disponíveis para a gestão do setor. Os indicadores constituem um sistema de suporte à decisão criado para a sustentabilidade da gestão.

5. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos no projeto devem ser analisados considerando o período de execução e a finalidade das ações desenvolvidas. Dessa forma, a análise dos dados disponíveis demonstrou a magnitude das perdas e permitiu mapear suas causas primárias.

Durante o período analisado, registraram-se 285.305,49 kg de produção total e 30.483,09 kg de sucata no conjunto de máquinas delimitado para o estudo. Esse volume de dados foi essencial para mapear a distribuição percentual das perdas entre os equipamentos e estratificar os motivos geradores. Conforme Tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3 – Produção das máquinas nos meses 1, 2, 3 e 4

Máquinas	1	2	3	4	TOTAL
EH 04	4119,74	4651,32	3656,06	131,64	12558,8
EH 05	2042	1140,87	23,75		3206,62
EH 06	2941,34	5518,54	3554,47	134,96	12149,3
EV 06	8776,01	16623,5	15367,2	610,72	41377,5
EV 07	2880,08	23086,6	19407	538,35	45912
EV 011	27210,2	23437,2	15103,9		65751,3
EV 12	5264,48	23446,5	21937,9	765,07	51413,9
EV 14	28332,4	15307,4	8331,19	965,17	52936,2

Fonte: Autores (2026)

Tabela 4 – Geração de sucata nas máquinas nos meses 1, 2, 3 e 4

Máquinas	1	2	3	4	TOTAL
EH 04	335,808	448,099	1098,95	69,729	1952,59
EH 05	498,294	193,86	19	14,88	726,034
EH 06	439,952	1008,56	1111,35	249,714	2809,57
EV 06	751,533	956,423	1248,19	260,357	3216,5
EV 07	446,229	5983,85	2502,66	181,652	9114,38
EV 011	1562,07	2354,31	827,192	0	4743,57
EV 12	905,479	2340,37	1441,11	740,756	5427,72
EV 14	1028,63	402,495	712,91	348,685	2492,72

Fonte: Autores (2026)

Tabela 5 – Percentual de sucata nos meses 1, 2, 3 e 4

Máquinas	1	2	3	4	TOTAL
EH 04	7,54%	8,79%	23,11%	34,63%	7,54%
EH 05	19,62%	14,52%	44,44%	100,00%	19,62%
EH 06	13,01%	15,45%	23,82%	64,92%	13,01%
EV 06	7,89%	5,44%	7,51%	29,89%	7,89%
EV 07	13,42%	20,58%	11,42%	25,23%	13,42%
EV 011	5,43%	9,13%	5,19%	0	5,43%
EV 12	14,68%	9,08%	6,16%	49,19%	14,68%
EV 14	3,50%	2,56%	7,88%	26,54%	3,50%

Fonte: Autores (2026)

A análise estratificada revelou discrepâncias comportamentais relevantes entre as tipologias de equipamentos. Nas Esmaltadeiras Verticais (EV), sobressaíram-se as ocorrências associadas à liberação de máquina, defeitos originados no fio nu, troca de bitolas por ordem de produção, fio nu com farpas e fio nu manchado.

Por sua vez, nas Esmaltadeiras Horizontais (EH), as maiores incidências estiveram vinculadas à formação de bolhas no esmalte, bolhas por contaminação de sujeira, falhas no nível de isolação elétrica e desvios dimensionais.

O diagnóstico detalhado dessas variáveis permitiu transitar de uma postura reativa que tratava o refugo apenas como um resultado consolidado ao final do processo para uma investigação preventiva voltada às variáveis de processo que originavam as falhas.

Portanto, um dos resultados centrais do projeto residiu no avanço qualitativo do diagnóstico dos motivos de geração de sucata. A padronização dos registros e sua subsequente estratificação viabilizaram a criação de uma matriz clara dos gargalos produtivos, promovendo o esclarecimento dos fatores geradores e facilitando a detecção das causas raízes.

Paralelamente, observou-se uma evolução substancial no envolvimento da equipe de chão de fábrica. A realização de reuniões periódicas de alinhamento e sessões de *brainstorming* impulsionou o engajamento dos operadores nas rotinas de investigação, estimulando a proposição de soluções operacionais diretamente por quem executa as tarefas.

No âmbito do fluxo e movimentação de materiais, os resultados mais consistentes decorreram da consolidação da sistemática FIFO (*First In, First Out*). Essa intervenção estabeleceu uma ordenação cronológica rigorosa no consumo do cobre proveniente da trefilação, otimizando o

controle do estoque intermediário e reduzindo o risco de degradação da matéria-prima antes do processo de esmaltação.

A proposta de padronização na liberação das máquinas representou uma evolução no método de trabalho, embora sua continuidade operacional tenha sido restrita pela escassez temporária de mão de obra. Por esse motivo, o impacto dessa ação deve ser interpretado como um ganho normativo e procedimental.

De modo análogo, os testes de enclausuramento da zona de aplicação de verniz constituíram uma ação focada na atenuação de bolhas por correntes de ar. Como a solução permanecia em fase de avaliação piloto ao término do estudo, os seus efeitos na redução de sucata mantêm-se como uma hipótese em validação.

Em suma, a melhoria da qualidade das informações gerenciais destaca-se como o resultado de maior valor estratégico para a organização. A estruturação da estratificação de defeitos, aliada aos novos indicadores e gráficos comparativos, forneceu uma base de dados confiável para a tomada de decisão, criando as premissas necessárias para a continuidade do programa Lean.

Assim, conclui-se que os resultados alcançados apresentaram natureza predominantemente organizacional, operacional e voltada à gestão da informação.

A prevalência de ganhos culturais e procedimentais nas etapas iniciais de transformação Lean, encontra respaldo na literatura especializada, conforme salientam Liker (2005) e Ferreira, Almeida e Costa (2024).

Ambos os autores reiteram que a consolidação da maturidade operacional, da padronização e da cultura de solução de problemas antecede, necessariamente, a estabilização quantitativa dos resultados fabris.

6. Considerações finais

O presente trabalho teve como objetivo analisar as principais causas geradoras de desperdícios no processo de fabricação de fios esmaltados de cobre e avaliar a aplicação das ferramentas do Lean Manufacturing na identificação e possíveis tratamentos dessas perdas.

A análise dos dados de produção e sucata permitiu identificar os fatores críticos que impactavam a eficiência do setor de esmaltação, com ênfase nas perdas por liberação de máquina, problemas no fio nu, troca de bitolas, bolhas no verniz, contaminação por sujeira, falhas de isolação e descontinuidades no fluxo de materiais.

A utilização integrada de ferramentas da qualidade — incluindo a estratificação de dados, o Diagrama de Pareto, o Relatório A3, a gestão visual e o *brainstorming* — provou ser eficaz para estruturar o diagnóstico, priorizar causas críticas e direcionar o plano de ação de acordo com as especificidades do processo.

Dentre as melhorias desenvolvidas, destacam-se a padronização do procedimento de liberação de máquinas, a implementação do sistema FIFO para matéria-prima, a criação de indicadores visuais e gráficos automatizados, o fortalecimento das rotinas de alinhamento com a operação e os testes de viabilidade técnica para enclausuramento e recozimento a vapor.

O trabalho alcançou resultados organizacionais expressivos, traduzidos no ganho de previsibilidade do fluxo, na padronização das rotinas, na melhoria do registro de falhas, no diagnóstico assertivo das causas raízes e na elevação do engajamento dos operadores. O principal mérito da pesquisa residiu na construção de uma arquitetura sólida de gestão de desperdícios, servindo como alicerce para a melhoria contínua da planta industrial.

Conclui-se que os princípios do Lean Manufacturing constituem uma abordagem consistente para a gestão de perdas na indústria de condutores elétricos, especialmente por promover o pensamento estruturado, o rigor metodológico e a gestão participativa. A mensuração dos impactos quantitativos nos custos e volumes de refugo permanece como uma etapa pendente de validação a longo prazo.

Como recomendação para trabalhos futuros, sugere-se a continuidade da coleta de dados por um período mínimo de seis meses após a estabilização das rotinas padronizadas, permitindo a condução de testes de hipótese estatísticos de pré e pós-intervenção, bem como a avaliação do

retorno financeiro sobre os investimentos necessários para a adequação dos sistemas de recozimento a vapor e enclausuramento das máquinas.

Referências

CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

FERREIRA, G. L.; ALMEIDA, T. S.; COSTA, H. A. Métodos A3 e gestão visual na solução de problemas complexos na manufatura. **Revista Gestão & Produção**, v. 31, e0124, 2024.

LIKER, Jeffrey K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

OHNO, Taiichi. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLIVEIRA, R. M.; PEREIRA, R. C. Gestão de desempenho e controle de perdas em processos produtivos contínuos. **Journal of Lean Systems**, v. 7, n. 1, p. 112-127, 2022.

SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

SOUZA, A. C.; SILVA, M. R.; SANTOS, E. F. Aplicação do Lean Manufacturing e gestão visual na redução de desperdícios industriais. **Revista de Engenharia de Produção**, v. 19, n. 2, p. 45-58, 2023.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. **A máquina que mudou o mundo: baseado no estudo do Massachusetts Institute of Technology sobre o futuro do automóvel**. 11. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.