

Análise e Proposição de Melhorias em uma Linha de Produção de Transformadores com Foco em Produção Enxuta

Gilberto de March | Gilbem@gmail.com ¹

Guilherme Pires Carvalho de Almeida | guilhermepigs1@gmail.com ²

Thomas da Silva | Thomas da Silva ³

Vinicius Silveira de Carvalho | vininiiv.sfs@gmail.com ⁴

Edital de fomento do trabalho 2025_PROEX 04

Trabalho de Extensão

DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

No cenário industrial atual, marcado por alta competitividade e exigência por maior eficiência produtiva, empresas do setor de transformadores elétricos enfrentam desafios para diminuir seus custos. Diante disso, este artigo teve como objetivo propor melhorias no layout e no método produtivo de uma linha de fabricação de transformadores de pequeno porte, substituindo o sistema de produção em lotes por fluxo contínuo. A metodologia adotada incluiu revisão bibliográfica, visitas técnicas à planta industrial, coleta de dados por meio de filmagens, cronometragens, medições e observações diretas, seguidas da aplicação de ferramentas como 5S, cronoanálise, balanceamento de linha e Poka-Yoke. Os resultados indicaram que, com as alterações propostas, é possível reduzir o lead time da produção em até 55%, além de implementar organização, padronização e agilidade do processo. Conclui-se que a readequação do layout e o uso de ferramentas do lean manufacturing são eficazes para otimizar a linha de produção, e que a aplicação prática dos conhecimentos acadêmicos em projetos de extensão pode gerar impactos positivos na indústria local.

Palavras-chave: fluxo contínuo; produção enxuta; transformadores.

Introdução

O cenário industrial atual é marcado por um ambiente globalizado e altamente competitivo, onde empresas de setores como o de fabricação de transformadores enfrentam a crescente concorrência de grandes corporações internacionais. Essa

¹ Estudante do curso Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Santa Catarina - Jaraguá do Sul - Rau.

² Estudante do curso Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Santa Catarina - Jaraguá do Sul - Rau.

³ Estudante do curso Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Santa Catarina - Jaraguá do Sul - Rau.

⁴ Estudante do curso Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Santa Catarina - Jaraguá do Sul - Rau.

realidade impõe desafios significativos, como a exigência por preços cada vez mais baixos e prazos de entrega mais curtos, pressionando os sistemas produtivos a buscarem maior eficiência. Neste contexto, a organização do layout industrial, juntamente com as diferentes formas de produção, tem influência direta no tempo de fabricação, no fluxo de materiais e na ergonomia dos postos de trabalho. A relevância deste estudo reside na necessidade de integrar melhorias operacionais à sustentabilidade do negócio. O objetivo geral deste artigo é propor a readequação do layout e do método produtivo de uma linha de produção do setor de transformadores elétricos, utilizando propostas elaboradas a partir de estudos teóricos em sala de aula, visitas técnicas e análise processual. As sugestões apresentadas baseiam-se em ferramentas do Lean Manufacturing, visando a redução do lead time e a padronização dos processos, consolidando o princípio da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão ao aplicar o conhecimento acadêmico na resolução de problemas reais da indústria.

Fundamentação teórica

A eficiência de um sistema produtivo está diretamente ligada à disposição física de seus recursos e à fluidez de suas operações. De acordo com Gerlach *et al.* (2017), alterações estratégicas no layout podem reduzir o lead time em até 46%, eliminando desperdícios e conferindo maior agilidade ao processo. Complementarmente, Braga (2008) afirma que a adoção de um fluxo contínuo e a reorganização da fábrica para peças seriadas garantem uniformidade nos tempos de fabricação e nos padrões de qualidade, favorecendo a movimentação eficiente de materiais. Esse sistema de fluxo contínuo permite que as peças avancem de forma sequencial e coordenada, reduzindo esperas e deslocamentos desnecessários (Silva, 2019). Para sustentar essa estrutura, ferramentas de melhoria como o Poka-yoke, o 5S e o Kanban mostram-se eficazes na prevenção de erros e na organização do ambiente de trabalho. Além disso, a aplicação da cronoanálise torna-se fundamental para a padronização dos processos, permitindo uma análise técnica precisa que embasa a contribuição acadêmica e profissional deste trabalho no campo da engenharia de produção.

Procedimentos metodológicos

O percurso metodológico iniciou-se com a revisão bibliográfica acerca dos conceitos de manufatura enxuta e o pilares do fluxo produtivo, posteriormente, realizou-se uma visita à empresa de transformadores, para conhecer o ambiente, entender o funcionamento da linha de produção e levantar informações preliminares sobre os processos de fabricação dos transformadores. A análise concentrou-se em dois setores consecutivos da linha de montagem, interligados por uma etapa intermediária de impregnação, que compõem o fluxo produtivo do transformador desde sua montagem até o acabamento.

Em um segundo momento, foi organizada uma nova visita, dessa vez voltada à coleta de dados técnicos, onde foram feitas filmagens das operações, cronometragens, e medições das distâncias entre os postos de trabalho. Também foi mapeado o caminho percorrido pelas peças ao longo da linha, somando-se os metros andados até o produto final. Além disso, foram cronometrados os deslocamentos dos operadores até o totem de apontamento, onde são feitas as aberturas e fechamento das ordens de produção, com o intuito de compreender melhor as perdas de tempo geradas por movimentações frequentes e distâncias elevadas no setor.

Com base nesse diagnóstico, foram sugeridas aplicações de ferramentas do lean manufacturing e da produção, como 5S, cronoanálise, balanceamento de linha e reorganização do layout físico. Também foi identificada a possibilidade de implementação de um Poka-Yoke em uma etapa específica do processo. Essas ferramentas serviram de apoio para a elaboração de propostas voltadas à substituição do modelo de produção por lotes por um sistema de fluxo contínuo, buscando tornar a linha mais ágil, organizada e eficiente.

A última etapa do trabalho foi dedicada à construção de um relatório técnico que reunisse todas as propostas de readequação da linha. Entre as sugestões desenvolvidas, destacou-se a redistribuição dos postos de trabalho, a reordenação das etapas operacionais, a reorganização dos materiais com base nos princípios do 5S e a criação do dispositivo Poka-Yoke mencionado anteriormente. Todo o processo foi realizado com o acompanhamento dos docentes responsáveis, permitindo a aplicação prática dos conteúdos estudados em sala e aproximando-nos da realidade da indústria.

Resultados e discussões

A coleta de dados iniciou-se com o levantamento das principais operações realizadas no STP e seus respectivos tempos (em segundos) e a distância percorrida (em metros) pelo produto durante sua fabricação, conforme visto na Tabela 1. É importante salientar que os processos e tempos pelos quais os produtos passam são individuais e variam conforme o modelo de transformador, desta maneira os resultados obtidos baseiam-se numa análise geral, na qual foram avaliados diferentes modelos. Visto que a etapa de Impregnação pertence a outro setor da empresa, esta operação foi removida das análises da pesquisa.

Tabela 1 – Etapas de produção da manufatura dos transformadores de pequeno porte e seus respectivos tempos e a distância percorrida

Nº	Operação	Tempo (s)	Distância Percorrida (m)
1	Bobinagem do Núcleo	1620	0,0
2	Ligação Interna	240	3,5
3	Montagem da Chapa E	420	7,0
4	Montagem da Chapa I	70	1,5
5	Soldagem	20	1,5
6	Montagem de Patilhas e/ou Fixadores Inferiores	116	2,0
7	Impregnação	-	5,0
8	Remoção do Verniz	45	5,0
9	Pintura Manual	78	1,5
10	Montagem dos Fixadores Superiores e/ou Suporte	105	1,5
11	Ligação Externa	220	1,5
12	Inspeção e Identificação	40	2,0
	Total	2974	32,0

Fonte: elaborada pelo autor a partir de informações da pesquisa (2025).

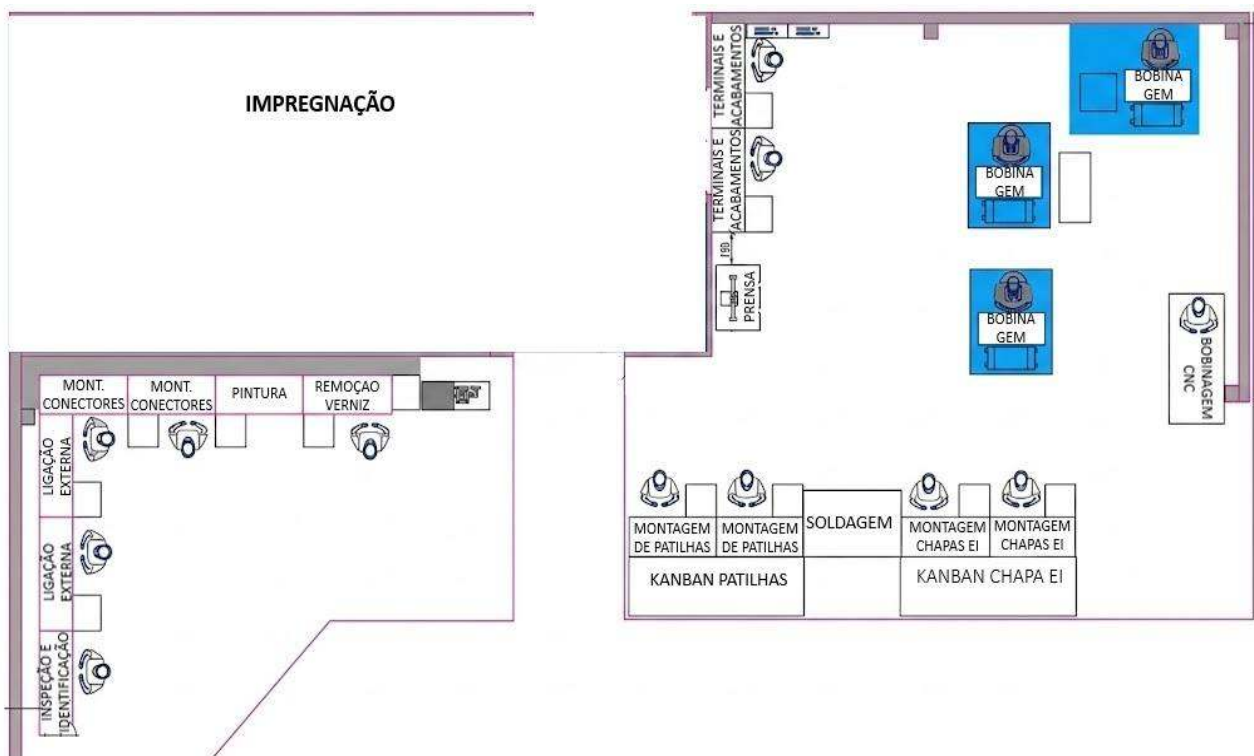
Nota-se a falta de uniformidade nos tempos de produção entre os processos, o que cria gargalos produtivos, justificando o balanceamento de algumas atividades para o equilíbrio do processo como um todo.

O STP possui um sistema de produção em lote, sendo que cada lote de produtos passa por um determinado processo e, ao final, fica em aguardo até a liberação do próximo posto de operação. Esse cenário implica em situações que podem ser desfavoráveis para o tempo de entrega do produto. Desta maneira, considerando um lote

mínimo de 2 unidades, o lead time do produto final seria o dobro devido às esperas intermediárias entre processos, totalizando 5.948 segundos.

Na Figura 1 é possível observar a planta baixa do STP onde, do lado direito se concentram as atividades pré-impregnação, ao qual chamaremos de STP-1, e ao lado esquerdo estão as operações pós-impregnação, o STP-2.

Figura 1 – Planta baixa do STP



Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

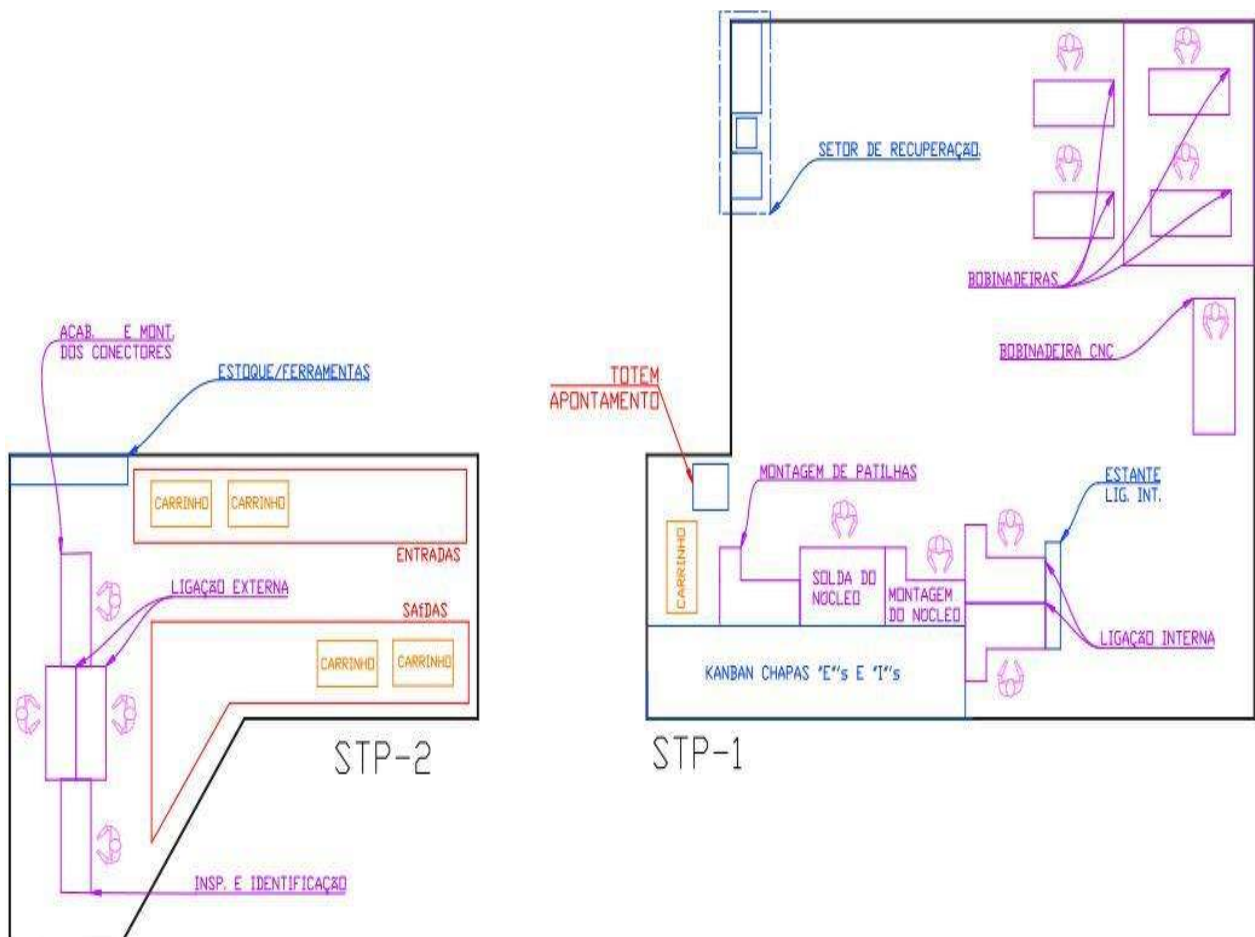
Outra situação identificada devido ao sistema de produção em lote é o acúmulo de produtos inacabados, de diferentes lotes, em espera sobre as bancadas. Seguindo a filosofia 5S, a falta de organização e a falta de designação adequada são fatores que dificultam a eficiência produtiva.

Um dos fatores de atraso identificado pelos operadores do STP é o apontamento da Ordem de Produção, sendo necessário realizá-lo ao início e final de cada lote. A reclamação provém do fato de que o tempo total de apontamento, incluindo locomoção, é

muito elevado. Para os lotes de menor volume, o tempo para apontamento supera o tempo de produção do lote.

Realizada a coleta de informações acerca do processo produtivo, iniciou-se o desenvolvimento de proposta de adaptação do fluxo produtivo e layout. A proposta baseia-se na implementação do fluxo contínuo e no balanceamento de linha, conforme descrita por Silva (2019), visto que a sequência de processos é semelhante para grande parte dos produtos e do layout pré-existente das máquinas e postos de trabalho, sendo necessário somente sua readequação. A Figura 2 mostra o layout proposto.

Figura 2 – Layout proposto para o STP



Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

Iniciando pelo STP-1, as máquinas bobinadeiras foram dispostas em uma célula à parte, visto que estas tomam grande tempo do lead time e as máquinas ocupam um

grande espaço. As bobinadeiras alimentam o mercado da etapa de Ligação Interna que foi realocada para junto dos processos posteriores, sendo feita também a Montagem da Chapa E, por dois operadores simultaneamente. Posteriormente, mantiveram-se os processos de Montagem da Chapa I, Soldagem e Montagem de Patilhas, com a eliminação de um dos postos.

No STP-2, foi sugerido realocar a etapa de Acabamento para o setor de Impregnação, considerando que essa otimização deve ser realizada pelo setor. Os demais postos foram estruturados em linha onde a etapa de Pintura é realizada junto à etapa de Montagem dos Fixadores Superiores. Um dos gargalos indicado pelo operador desta etapa é o tempo de secagem da tinta. Para aceleração do processo foram recomendados duas opções sendo elas, a adição de catalisadores na tinta, e ventiladores ou painéis de secagem, desta forma o tempo de secagem poderia ser significativamente reduzido.

Os postos de Ligação Externa mantiveram-se, apenas reposicionados frente a frente, para alcançar o lead time do processo anterior. Por fim, a Inspeção/Identificação foi incorporada à linha principal. Visto que se trata de uma operação de curta duração, recomendou-se que o operador desta etapa assuma funções de recuperação de peças fora do padrão de qualidade, atuando como um “volante”.

Esta medida visa a aumentar a eficiência na entrega dos produtos, de modo que, em eventuais falhas em alguma unidade, possam ser corrigidas o mais rápido possível, evitando atrasos na entrega do lote. Também sugeriu-se realizar o acompanhamento destas eventuais falhas, registrando o defeito e sua causa, para que seja possível tratá-los adequadamente, reduzindo a incidência. Com a otimização dos layout e liberação de espaços, foi sugerido criar uma área de retrabalho, dentro do STP-1, conforme visto na Figura 2.

Recomendou-se também a identificação adequada no chão nos pontos de alocação dos estoques dos transformadores, antes e depois da impregnação.

Para o processo de adição das patilhas, foi proposta a criação de um dispositivo Poka-Yoke, para auxiliar no alinhamento preciso das peças ao transformador, conforme a Figura 3. Estima-se que essa adaptação possibilite a redução de aproximadamente 60 segundos no tempo total da operação assim como a padronização da atividade.

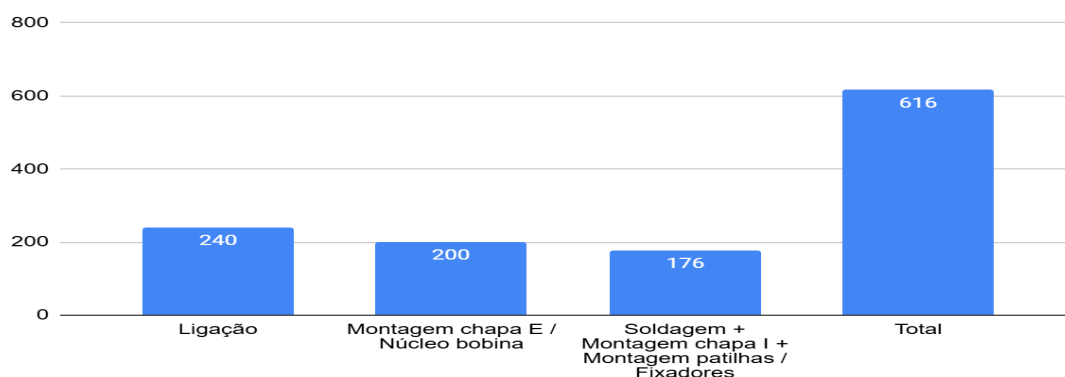
Figura 3 – Sugestão de Poka-Yoke para um dispositivo de alinhamento das Patilhas.

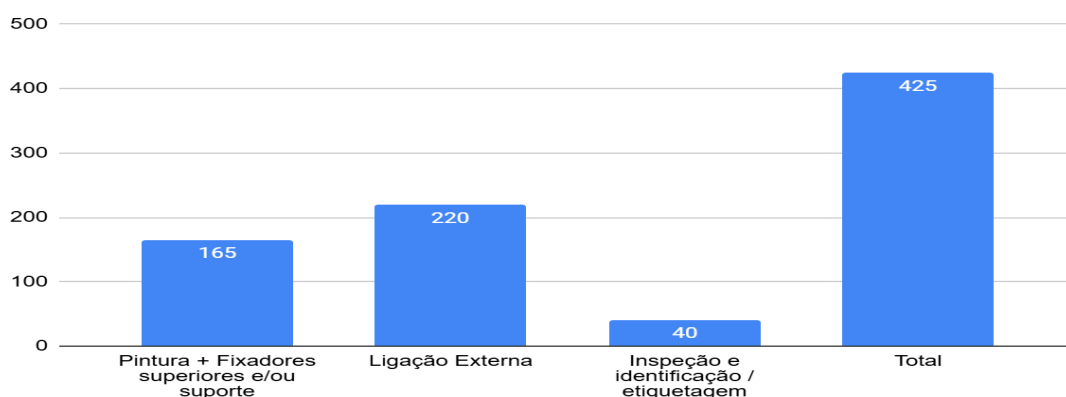


Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

A Figura 4 mostra a projeção do lead time nos STP-1 e STP-2. No STP-1, a partir do processo de Ligação Interna até a Impregnação (considerando as esperas), o lead time foi reduzido de 1176 para 616 segundos, uma redução de aproximadamente 47%. Para o STP-2 o tempo anterior de 936 segundos, foi estimado em 425 segundos, uma redução de 55%. Estes resultados, em média 51% de redução, vão de acordo com a estimativa de Gerlach *et al.* (2017). É importante ressaltar que estes dados são projeções, para avaliar os valores reais se faz necessário a aplicação das propostas levantadas e a realização de uma nova cronoanálise.

Figura 4 - Projeção do Lead Time dos novos STP-1 e STP-2





Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

Os dados coletados e estimados, ressaltam os possíveis benefícios das intervenções no layout e na dinâmica operacional do STP, evidenciando gargalos significativos em determinadas operações e a ineficiência do modelo produtivo baseado em lotes. As propostas apresentadas vão além da redução do lead time, buscando promover melhorias na organização do fluxo produtivo. No entanto, sua implementação pode enfrentar limitações práticas, como a disparidade nos tempos de execução entre as etapas, a resistência dos operadores à adoção de uma nova cultura organizacional e os desafios físicos de readequação do espaço fabril. Estes obstáculos podem ser contornados com planejamento participativo, treinamentos específicos e ajustes graduais, garantindo a consolidação das melhorias propostas a médio prazo.

Considerações finais

Com a reorganização dos postos de trabalho e maquinário, assim como a alteração do modelo de produção em lote para fluxo contínuo, puderam ser estimadas reduções de 47% e 55% no tempo de produção dos setores STP-1 e STP-2, respectivamente. Essas mudanças, tendem a promover uma melhora significativa na rapidez e padronização do processo produtivo de transformadores elétricos pequenos, evidenciando o êxito dos objetivos propostos.

Este artigo evidencia a indissociabilidade do ensino, pesquisa e extensão, possibilitando aos extensionistas aplicar na prática conceitos teóricos abordados em sala de aula, que acabam por trazer benefícios à comunidade e economia local.

Mesmo com a aplicação das alterações propostas, ainda podem ser apontados possíveis pontos de melhoria e estudo, como por exemplo questões ergonômicas e de segurança dos colaboradores durante a operação de máquinas e ferramentas. É de interesse também, que caso aplicadas tais mudanças, seja feito uma análise da implementação e operação do novo modelo produtivo, a fim de verificar os valores estimados no presente artigo, e propor novos ajustes.

Referência ao fomento recebido

Este trabalho foi realizado através de recursos provenientes do financiamento recebido pelo Edital 2025_PROEX 04 - Fomento às Atividades de Extensão do Câmpus Jaraguá Do Sul - Rau.

Referências

BRAGA, Ricardo Marques. **Os Desafios Para Estabelecer Um Fluxo Contínuo Numa Linha De Produção: Caso Da Indústria Automobilística**. 2008. 54 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Transportes, Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/90949>. Acesso em: 25 jun. 2025.

GERLACH, Gustavo; SILVA, Vilmar Bueno da; SANTOS, Lucas Almeida dos; ADAMY, Ana Paula do Amaral; GARLET, Eliane. **Proposta de melhoria de layout como fator para a otimização do processo produtivo organizacional**. Revista de Administração da UFSM, Santa Maria, v. 10, p. 41–55, ago. 2017.

SILVA, Arthur José Avelar da. **Lean Manufacturing** – implantação do conceito de fluxo contínuo [Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção)]. São Paulo: PGSS Cognia, 2019. Disponível em: repositório PGSS Cognia. Acesso em: 25 jun. 2025.