

TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTAS: IMPLANTAÇÃO DE SUCESSO EM UMA INDÚSTRIA METALÚRGICA

SMED: SUCCESSFUL IMPLEMENTATION IN A METALLURGICAL INDUSTRY

André Luiz Emmel Silva*  E-mail: andresilva@unisc.br
Jean Marques Martins*  E-mail: jeanmarques2403@hotmail.com
Jorge André Ribas Moraes*  E-mail: jorge@unisc.br
Flávio Régio Brambilla*  E-mail: flaviobr@unisc.br
Eduardo Baldo Moraes*  E-mail: eduardobaldo2@gmail.com

*Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

Resumo: O Lean Manufacturing é uma filosofia que possui diversas técnicas, métodos e ferramentas com o objetivo de eliminar os desperdícios e tornar a empresa mais competitiva. Entre as técnicas do Lean está a Troca Rápida de Ferramentas (TRF) que procura diminuir o tempo de setup e o tempo de máquina parada durante o processo. Com base nessa premissa, o presente trabalho teve como objetivo identificar e analisar os resultados obtidos com a implantação da TRF em uma tradicional indústria metalúrgica do Rio Grande do Sul, Brasil. Para alcançar os objetivos deste trabalho, foi acompanhado o processo de setup da peça Chassis do Motor antes e depois da implantação das técnicas da TRF. Entre os principais resultados obtidos se destaca a redução do tempo total de setup em 58,4%, a redução de 96,3% do tempo de máquina parada e melhor sequenciamento das etapas (passos) envolvendo as atividades da TRF pelo operador que realiza a tarefa.

Palavras-chave: Lean Manufacturing. Troca Rápida de Ferramenta. Setup.

Abstract: Lean Manufacturing is a philosophy that has several techniques, methods and tools with the aim of eliminating waste and making the company more competitive. Among the Lean techniques is Single-Minute Exchange of Dies (SMED), which seeks to reduce setup time and machine downtime during this process. Based on this premise, the present work aimed to identify and analyze the results obtained with the implementation of Single-Minute Exchange of Dies in a traditional metallurgical industry in Rio Grande do Sul, Brazil. To achieve the objectives of this work, the setup process of the Engine Chassis part was monitored before and after the implementation of Single-Minute Exchange of Dies techniques. Among the main results obtained are the reduction in total setup time by 58.4%, the reduction of 96.3% in machine downtime and better sequencing of stages (steps) involving the SMED activities by the operator who performs the task.

Keywords: Lean Manufacturing. Single-Minute Exchange of Dies. Machine Setup.

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais o mercado vem exigindo que as organizações encontrem formas de aumentar sua vantagem competitiva e manter-se ativas no seu segmento

de atuação. A busca pela competitividade faz com que as organizações revejam continuamente seus processos produtivos tornando estes mais ágeis (Schwengber *et al.*, 2017; Al-Rifai, 2024; Pawlak, 2024). Para que uma empresa gere lucro e obtenha sucesso, o seu desempenho organizacional necessariamente deve ser eficiente (Silva *et al.*, 2017). Os recursos precisam ser gerenciados de modo eficaz, utilizando-se de ferramentas ou mecanismos que proporcionem resultados satisfatórios (Moraes *et al.*, 2024), para tê-los com a maior disponibilidade possível, satisfazendo as necessidades de utilização e gerando resultados (Rosa *et al.*, 2020). Neste contexto, apesar da evolução das metodologias e ferramentas de apoio a gestão ao longo das décadas (Kipper *et al.*, 2019), o Lean Manufacturing ou Produção Enxuta se mantém ativo como filosofia de gestão contribuindo para o sucesso das empresas.

O Lean Manufacturing engloba um conjunto de práticas e princípios com o objetivo de melhorar a competitividade das empresas. Dentre as diversas ferramentas na aplicação do Lean está a Troca Rápida de Ferramentas (TRF). Conforme Bartz, Siluk e Riffel (2012) a TRF foi desenvolvida por Shingo com o objetivo de reduzir o tempo de *setup* através da realização da análise do *setup* atual e da separação de *setup* interno e externo. Com esta análise é possível identificar melhorias nos equipamentos e nos processos para obter maior produtividade.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo identificar e analisar os resultados obtidos com a implantação da TRF no setor de solda robô em uma indústria metalúrgica voltada ao agronegócio. A empresa tem como principais clientes montadoras do setor agrícola e busca aprimorar o seu processo produtivo para atender as exigências do mercado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Lean Manufacturing

O Lean Manufacturing ou Produção Enxuta teve origem na Toyota, a gigante automotiva japonesa na década de 1940, para garantir a sobrevivência em um ambiente altamente competitivo (Kumar *et al.*, 2024). Amplamente utilizado e difundido entre diferentes segmentos da indústria (Pagliosa; Tortorella; Ferreira, 2021; Torri *et al.*, 2021; Gopi; Saleeshya, 2024; Kiran; Ozkan-Ozen; Ozturkoglu,

2024), o Lean tem sido uma estratégia bem reconhecida para as empresas alcançarem melhores desempenhos e reforçar sua competitividade geral (Burch; Smith, 2019; Negrão *et al.*, 2020; Alexander; Iskandar, 2023; Das; Canel, 2023; Keyser; Pooyan, 2023; Bianco *et al.*, 2024; Díaz-Reza *et al.*, 2024). Seguir os princípios Lean permite à empresa simplificar processos, reduzir despesas desperdícios, tempos de ciclo e lead time, juntamente com maior flexibilidade, qualidade e produtividade (Alexander; Iskandar, 2023; Kaswan *et al.*, 2023; Kumar *et al.*, 2024; Díaz-Reza *et al.*, 2024; Kalemkerian *et al.*, 2024; Neacșu *et al.*, 2024).

O Sistema Toyota de Produção (TPS), desenvolvido por Taichi Ohno e Sakichi Toyoda, é considerado o precursor do Lean Manufacturing (Al-Rifai, 2024; Gopi; Saleeshya, 2024; Neacșu *et al.*, 2024). O princípio central é eliminar todos os desperdícios, que é definido como tudo o que não agrega valor ao produto ou processo (Aadithya; Asokan; Vinodh, 2023; Braglia *et al.*, 2024; Katsigiannis; Pantelidakis; Mykoniatis, 2024). Esses desperdícios são superprodução, estoque, defeito, movimentação, processamento desnecessário, transporte e espera (Cherrafi *et al.*, 2016; Kalemkerian *et al.*, 2022; Al-Rifai, 2024; Kiran; Ozkan-Ozen; Ozturkoglu, 2024). Os clientes não estão interessados em pagar por estas atividades que não acrescentam valor e que não têm impacto na qualidade, nos custos e no desempenho (Cherrafi *et al.*, 2018).

Para realizar a filosofia Lean Manufacturing é necessário aplicar práticas que se complementam na formação do sistema Lean. Entre as técnicas, métodos e ferramentas utilizadas estão *Just-in-time*, *Kaizen*, *Poka-Yoke*, *5S*, *Takt Time*, *Kanban*, Mapeamento do Fluxo de Valor e TRF (Lima *et al.*, 2016; Shah; Patel, 2018; Afonso; Gabriel; Godina, 2022; Al-Rifai, 2024, Ali *et al.*, 2024; Mittal; Shameem, 2024).

2.2 Troca Rápida de Ferramentas (TRF)

Setup é um processo que prepara a troca para a próxima peça a ser produzida (Pattaro Junior *et al.*, 2022; Peças *et al.*, 2022). É o tempo entre a fabricação da última peça boa de um lote anterior e a produção da primeira peça boa do lote seguinte (Braglia; Frosolini; Gallo, 2017; Sugarindra; Ikhwan; Suryoputro, 2019; Niekurzak *et al.*, 2023; Oliveira; Lima, 2023). Quando o item a ser fabricado muda, é necessário preparar a linha de produção para a nova fabricação, realizando

ajustes em equipamentos, trocas de ferramentas e preparação de matérias-primas. São atividades que não agregam valor ao produto final, mas importantes para garantir sua fabricação adequada (Oliveira; Lima, 2023; Toki *et al.*, 2023). Este tempo de inatividade diminui a eficiência geral da fábrica e, para minimizá-lo, todas as trocas, consertos e manutenções devem ser realizadas o mais rápido possível (Emekdar *et al.*, 2023).

O conceito de gestão enxuta transformou vários setores industriais por meio de uma padronização rigorosa e melhorias contínuas nos padrões de produção (Braglia *et al.*, 2024; Joshi *et al.*, 2024). Ao planejar e coordenar cuidadosamente processos e métodos, o tempo não produtivo ou o desperdício podem ser reduzidos (Rathi; Sahu; Kumar, 2024). Um dos fatores importantes para aumentar o tempo produtivo da máquina é a redução do tempo de *setup* (Boran; Ekincioglu, 2017; Zhang; Chen; Gong, 2023), para o qual técnicas da TRF foram desenvolvidas e amplamente adotadas (Godina *et al.*, 2018; Silva; Godinho Filho, 2019; Ruppert; Csalodi; Abonyi, 2021; Wakiru *et al.*, 2021; Yazici; Gökler; Boran, 2021).

Pioneiro na implantação das trocas rápidas de ferramentas, Shingo dividiu a operação em *setup* interno e *setup* externo. As atividades internas são realizadas quando a máquina está parada, e atividades externas são realizadas durante a operação normal da máquina enquanto ela ainda está em funcionamento (Benjamin; Murugaiah; Marathamuthu, 2013; Yazici; Gökler; Boran, 2021; Ali *et al.*, 2024; Mohammad; Hamja; Hasle, 2024; Rathi; Sahu; Kumar, 2024). Para reduzir o tempo de inatividade da máquina parada, todas as atividades internas possíveis devem ser convertidas em atividades externas (Yazici; Gökler; Boran, 2021; Ebrahimi; Khakpour; Saghiri, 2021; Ali *et al.*, 2024; Wijesinghe; Illankoon, 2024). Assim, um novo procedimento de *setup* é definido com a externalização das atividades que estão sendo executadas atualmente com a máquina parada e com a revisão também das demais atividades internas (Peças *et al.*, 2022).

A TRF simplifica as operações de configuração e reduz o tempo total do *setup* (Kose *et al.*, 2022; Emekdar *et al.*, 2023). Essa redução no tempo de troca traz benefícios como prazos de entrega mais curtos, redução do tempo de inatividade de máquinas, possibilidades de produção em pequenos lotes, aumento da produtividade das máquinas (Kose *et al.*, 2022; Niekurzak *et al.*, 2023), além de impactar na lucratividade da empresa (Modoi; Mihai, 2022; Stapelbroek *et al.*, 2022).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Objeto de estudo

O trabalho foi aplicado em uma tradicional indústria metalúrgica do Vale do Rio Pardo, interior do estado do Rio Grande do Sul. A empresa foi fundada na década de 60 voltada para a fabricação de peças e componentes para colheitadeiras e implementos agrícolas. Atualmente, com mais de 28 mil metros quadrados de área construída e aproximadamente 100 colaboradores, seu foco se mantém no agronegócio atendendo montadoras e revendas, além de fornecer peças para usinas de asfalto. Em seu processo produtivo se destaca os processos de corte, dobra, solda, tratamento de superfície e pintura.

Devido à alta competitividade existente no mercado a empresa tem uma busca constante em melhorar seus processos para obter maior produtividade e atender seus clientes com custos e prazos de entregas menores. Entre os principais processos que a empresa procura melhorar está a solda robotizada. Atualmente a indústria conta com 5 robôs de solda e registra um tempo alto de *setup* prejudicando a produtividade. Desta forma, utilizando os conceitos da TRF no processo de solda robô a empresa poderá obter resultados significativos em sua produção.

3.2 Procedimentos de coleta e análise de dados

Para alcançar os objetivos deste trabalho, foi definido que seria acompanhado o processo de *setup* do Chassis do Motor por ser uma peça de alto volume e ser soldada no setor de solda robô. O primeiro procedimento foi acompanhar e filmar o *setup* antes da aplicação da TRF. Através das filmagens e informações coletadas foi possível verificar o tempo total de *setup*, o tempo de máquina parada e os movimentos realizados pelo operador.

Após este procedimento, foi realizada uma reunião entre PCP, Engenharia e operadores do robô para analisar os dados coletados e sugestões de ideias para melhorar o processo. Assim, algumas ideias foram implementadas e realizou-se um novo acompanhamento do *setup* do Chassis do Motor para verificar quais foram os resultados obtidos com a implantação da TRF.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

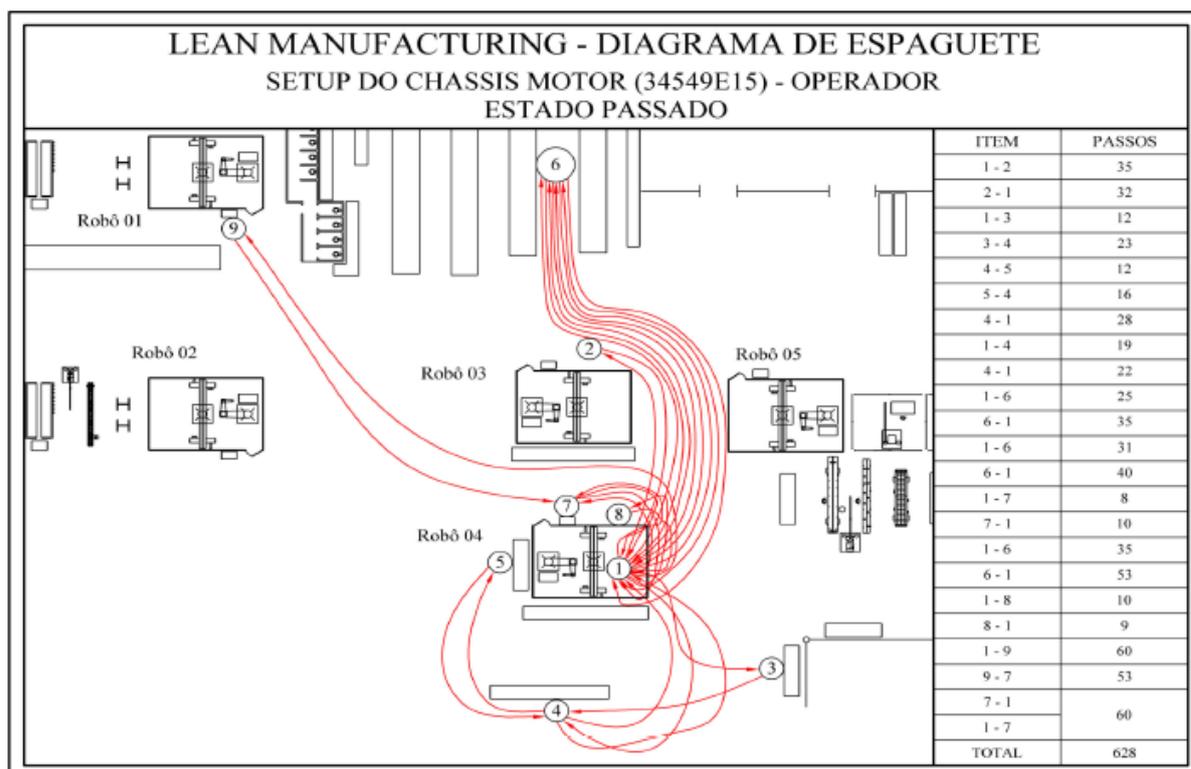
4.1 Situação passada

A partir da coleta de dados do processo de solda robô do Chassis do Motor verificou-se um alto tempo de *setup* e de máquina parada. O acompanhamento do tempo de *setup* iniciou quando a última peça do lote anterior foi soldada até a liberação da primeira peça do lote seguinte. Assim, o primeiro passo do operador do robô para iniciar o *setup* foi retirar o gabarito que estava sendo soldado e guardar no local determinado. As peças que estavam sendo soldadas também foram acondicionadas nos lugares definidos. Após esta etapa, o operador buscou o gabarito do Chassis do Motor e instalou no robô. Então as peças que fazem parte do Chassis do Motor foram selecionadas e acondicionadas próximas ao robô. A última etapa do *setup* foi montar as peças no gabarito e soldar a primeira peça para liberação do lote.

O tempo total do *setup* foi de 01 hora, 07 minutos e 04 segundos e o tempo que a máquina ficou parada foi de 50 minutos e 10 segundos. A diferença entre máquina parada e o tempo total de *setup* ocorre porque os robôs da empresa possuem duas mesas de solda. Dessa forma, enquanto uma mesa está soldando a outra está liberada para iniciar o *setup*. Portanto, o acompanhamento do *setup* do Chassis do Motor iniciou e na outra mesa o robô estava soldando outra peça.

Além dos tempos também foi possível analisar através das gravações todas as movimentações feitas pelo o operador. Assim, foi elaborado um diagrama de espaguete do *setup* do Chassis do Motor, apresentado na figura 1.

Figura 1 – Diagrama de espaguete – estado passado



No diagrama é possível verificar que o operador realizou 628 passos em todo o processo de *setup*. Também se verificou que o operador fez muitos movimentos que poderiam ser evitados se as peças, ferramentas e gabaritos utilizados estivessem mais próximos do robô. Após a coleta de dados foram feitas reuniões com as equipes de PCP, Engenharia e Operadores de Robô para analisar sugestões de melhoria para o processo através da TRF.

4.2 Situação atual

A primeira melhoria realizada buscou transformar os tempos internos (que são todas as tarefas executadas com o equipamento parado) em tempos externos. Assim, essas tarefas podem ser feitas com o equipamento em funcionamento. Para isso, foi alocado um auxiliar para realizar as movimentações que eram feitas pelo operador depois que a máquina parava.

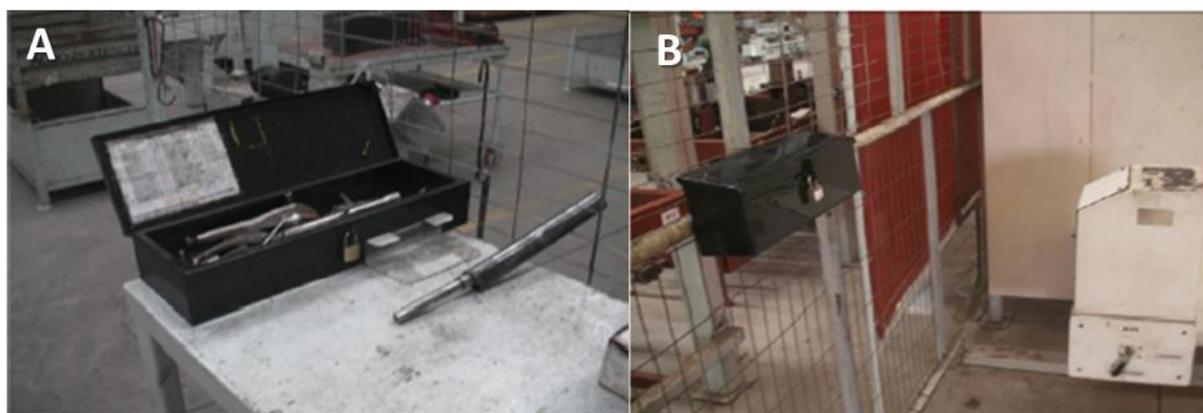
Dessa forma, ficou definido que próximo de terminar o lote anterior o operador comunica o auxiliar para que ele comece o *setup* com o equipamento ainda em funcionamento, buscando o gabarito do Chassis do Motor e as peças que serão

soldadas, e deixando-as próximo ao robô. O auxiliar, quando possível, já monta no gabarito as primeiras peças que serão soldadas. Dessa forma, a função do auxiliar é deixar o gabarito e as peças do próximo lote ao lado do robô antes do equipamento parar de funcionar. Quando o robô parar de soldar o lote anterior o operador retira o gabarito que estava sendo utilizado e posiciona o gabarito preparado pelo auxiliar. O tempo de máquina parada passou para 01 minuto e 52 segundos. O ganho obtido na conversão dos tempos internos para externos com essa melhoria foi de 96,3%.

Para que essa melhoria não fosse exclusiva da peça Chassis do Motor foi elaborada uma instrução de trabalho e treinamentos no setor de solda robô para padronização desse método. Essa melhoria refletiu em todas as peças que são soldadas nos robôs.

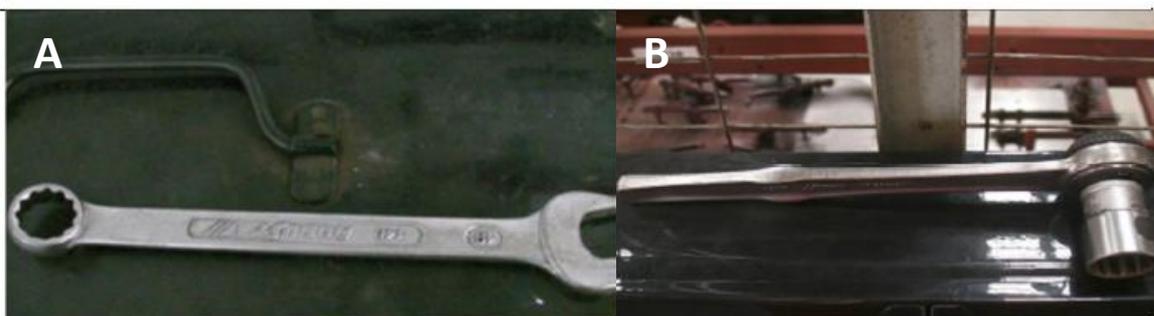
Na busca por diminuir o tempo de *setup* outras técnicas da TRF foram aplicadas. Analisando como era feito o *setup* no estado passado verificou-se que o operador se deslocava várias vezes até uma mesa no outro lado do robô para procurar as ferramentas que estava precisando. Para eliminar esse desperdício foi disponibilizado para cada robô de solda um conjunto de ferramentas necessárias para o *setup* e posicionado próximo do local para evitar movimentações desnecessárias. A figura 2ª mostra a caixa na posição antiga, longe do robô. Na figura 2b a caixa já está posicionada próximo ao local onde será executado o *setup*.

Figura 2 – Caixa de ferramentas



Outra dificuldade que o operador apresentou durante o *setup* foi a utilização de chave combinada (figura 3A) para retirar e apertar os parafusos do gabarito. Verificou-se que o tempo perdido nessa tarefa poderia ser menor com a utilização de chave catraca e cachimbo (figura 3B), tornando o processo mais ágil.

Figura 3 – Chaves utilizadas na tarefa



Durante o acompanhamento do *setup* no estado passado observou-se que quando o operador tinha que levantar o gabarito de solda com a utilização da talha e de correntes o gabarito pendia para um dos lados. Assim, o operador tinha que baixar novamente o gabarito, colocar as correntes em outra posição, levantar o gabarito e verificar se não iria inclinar novamente. Para evitar esses movimentos de tentativas e erros foi soldado um olhal no centro de gravidade do gabarito de forma que o operador posicione a corrente no local que não vai fazer o gabarito inclinar. Essa melhoria pode ser verificada na figura 4.

Figura 4 – Olhal fora de centro - estado passado (4A) e olhal no centro - estado atual (4B)



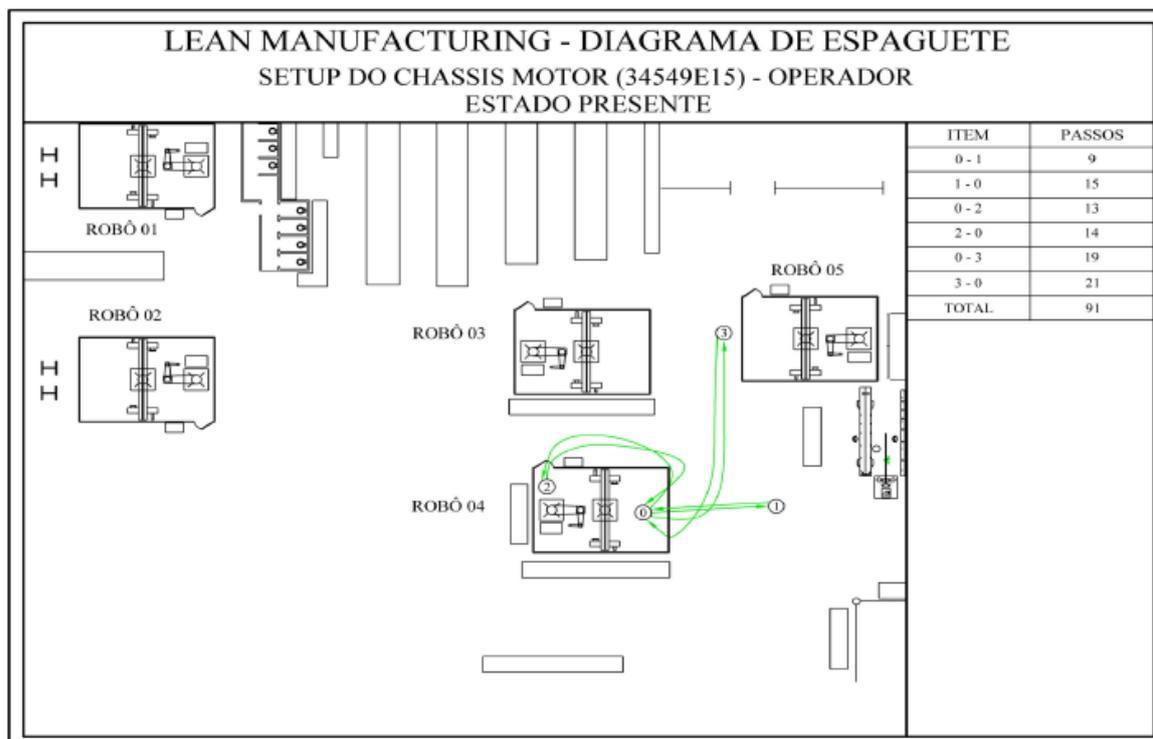
Ainda sobre as melhorias nos gabaritos, no *setup* do estado passado algumas porcas caíam e o operador tinha que se abaixar para pegá-las ocasionando desperdício de tempo. Na busca por eliminar essa perda as porcas foram soldadas no gabarito e, dessa forma, o operador não precisa se preocupar se as porcas irão cair. Na figura 5 pode-se verificar a melhoria.

Figura 5 – Porcas soltas - estado passado (5A) e porcas soldadas - estado atual (5B)



Desta forma, com essas melhorias realizadas o tempo total de *setup* foi de 27 minutos e 55 segundos, representando um ganho de 58,4%. Outro resultado importante foi a redução de passos realizados pelo operador durante o *setup* após a implantação da TRF (figura 6).

Figura 6 – Diagrama de espaguete - estado atual



Na figura 6 é possível verificar através do diagrama de espaguete a movimentação realizada pelo operador após a implantação das técnicas da TRF. O

ganho foi de 85,5%. Antes o operador fazia 628 passos e na situação atual ele faz 91 passos.

Conforme a tabela 1 é possível verificar um resumo das melhorias que ocorreram no processo de *setup* do Chassis do Motor nos robôs de solda da empresa com a implantação da TRF. Houve ganhos expressivos em tempo total de *setup*, tempo de máquina parada e quantidade de passos do operador. Importante ressaltar que esses ganhos são refletidos para todas as peças que são soldadas nos robôs devido a padronização do processo.

Tabela 1 – Resumo dos resultados obtidos

Setup do Chassis do Motor	Estado passado	Estado atual	Ganho
Tempo total de <i>setup</i>	01:07:04	00:27:55	58,4%
Tempo de máquina parada	00:50:10	00:01:52	96,3%
Quantidade de passos do operador	628	91	85,5%

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo identificar e analisar os resultados obtidos com a implantação da Troca Rápida de Ferramentas (TRF) no setor de solda robô em uma indústria metalúrgica voltada ao agronegócio. Para atingir o objetivo proposto, foi acompanhado o processo de *setup* da peça Chassis do Motor antes da aplicação da TRF. Com base nas informações obtidas foi possível realizar melhorias no processo para diminuir o tempo total de *setup*, o tempo de máquina parada e os movimentos realizados pelo operador.

Entre os principais resultados obtidos com a implantação da TRF está a redução do tempo total de *setup* de 01 hora 07 minutos e 04 segundos para 27 minutos e 55 segundos, ganho de 58,4%. Ao transferir o tempo de *setup* interno para *setup* externo foi possível reduzir o tempo de máquina parada em 96,3%. Outro resultado alcançado após a implantação das técnicas da TRF foi a redução em 85,5% dos passos realizados pelo operador durante o processo, passando de 628 para 91 passos. Portanto, através destes resultados nota-se que houve um ganho de produtividade no setor de solda robô após a implantação da TRF.

Por fim, como proposta de trabalhos futuros, recomenda-se que a TRF seja implantada no *setup* de prensas hidráulicas, onde o tempo para a troca de matrizes também é considerado alto, resultando em perda de produtividade.

REFERÊNCIAS

AADITHYA, B.G.; ASOKAN, P.; VINODH, S. Lean manufacturing in fabrication industry: literature review and framework proposal. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 40, n. 6, p. 1485-1517, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1108/ijqrm-03-2021-0084>

AFONSO, M.; GABRIEL, A. T.; GODINA, R. Proposal of an innovative ergonomic SMED model in an automotive steel springs industrial unit. **Advances in Industrial and Manufacturing Engineering**, v. 4, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aime.2022.100075>

ALEXANDER, L.; ISKANDAR, I. Application of Lean Manufacturing in Aluminum Cable Ladder Manufacturing Companies: Case Study at PT. Indra Saputra Triassic. **Journal of Mechanical, Civil and Industrial Engineering**, v. 4, n. 1, p. 09-16, 2023. DOI: <https://doi.org/10.32996/jmcie.2023.4.1.2>

ALI, S.M.; HAQUE, M.N.; SARKER, M.R.; KANDASAMY, J.; VLACHOS, I. Improving changeover techniques in apparel manufacturing through single minute exchange of die: implications for benchmarking. **Benchmarking: An International Journal**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1108/BIJ-11-2022-0718>

AL-RIFAI, M. H. Redesigning and optimizing an electronic device assembly cell through lean manufacturing tools and kaizen philosophy: an application case study. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 73, n. 4, p. 1273-1301, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-04-2023-0180>

BARTZ, T.; SILUK, J. C. M.; RIFFEL, E. T. Uso da troca rápida de ferramentas–TRF–como estratégia de aumento de produtividade em uma rotuladora de garrafas plásticas. **Tecno-Lógica**, v. 16, n. 2, p. 71-77, 2012.

BENJAMIN, S.J.; MURUGAIAH, U.; MARATHAMUTHU, M.S. The use of SMED to eliminate small stops in a manufacturing firm. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 24, n. 5, p. 792-807, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1108/17410381311328016>

BIANCO, D.; GODINHO FILHO, M.; NEGRÃO, L.L.L.; GANGA, G.M.D.; TORTORELLA, G.L.; SILVA, J.M.N.; COSTA, L.B.M.; BARATA, M.P.C. Companies Responsiveness in Facing Supply Chain Breakdowns: The Role of Lean Manufacturing. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 71, p. 6712-6724, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1109/TEM.2023.3286352>

BORAN, S.; EKINCIOĞLU, C. A novel integrated SMED approach for reducing setup time. **Int J Adv Manuf Technol**, v. 92, n. 9, p. 3941-3951, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0424-9>

BRAGLIA, M.; FROSOLINI, M.; GALLO, M. SMED enhanced with 5-Whys Analysis to improve set-up reduction programs: the SWAN approach. **Int J Adv Manuf Technol**, v. 90, p. 1845-1855, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9477-4>

BRAGLIA, M.; GALLO, M.; MARRAZZINI, L.; SANTILLO, L. C. Operational space efficiency (OpSE): a structured metric to evaluate the efficient use of space in industrial workstations. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 73, n. 4, p. 1027-1049, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-07-2022-0362>

BURCH, V.R.F.; SMITH, B. Using simulation to teach lean methodologies and the benefits for Millennials. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 30, n. 3-4, p. 320-334, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/14783363.2017.1303330>

CHERRAFI, A.; ELFEZAZI, S.; CHIARINI, A.; MOKHLIS, A.; BENHIDA, K. The integration of lean manufacturing, six sigma and sustainability: A literature review and future research directions for developing a specific model. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 828-846, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.101>

CHERRAFI, A.; GARZA-REYES, J.A.; KUMAR, V.; MISHRA, N.; GHOBADIAN, A.; ELFEZAZI, S. Lean, green practices and process innovation: a model for green supply chain performance. **International Journal of Production Economics**, v. 206, p. 79-92, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.09.031>

DAS, S.; CANEL, C. Linking manufacturing and competitive strategies for successful firm performance: a review and reconceptualization. **Journal of Strategy and Management**, v. 16, n. 1, p. 148-172, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1108/JSMA-02-2022-0043>

DÍAZ-REZA, J.R.; MOUSAVI, S.H.; SÁNCHEZ-RAMÍREZ, C.; GARCÍA-ALCARAZ, J.L. Achieving social sustainability through lean manufacturing practices: Insights from structural equation model and system dynamics. **Journal of Cleaner Production**, v. 448, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141453>.

EBRAHIMI, A.; KHAKPOUR, R.; SAGHIRI, S. Sustainable setup stream mapping (3SM): a systematic approach to lean sustainable manufacturing. **Production Planning & Control**, v. 34, n. 4, p. 311-329, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1916637>

EMEKDAR, E.; AÇIKGÖZ-TUFAN, H.; ŞAHİN, U.K.; BAHADIR, S.K.; TULUK, B.; ŞİMŞEK, A.N. Process improvement and efficiency analysis using the Single-Minute Exchange of Dies method applied to the set-up and operation of screen-printing machines. **Coloration Technology**, v. 139, n. 2, p. 209-218, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/cote.12676>

GODINA, R.; PIMENTEL, C.; SILVA, F.J.G.; MATIAS, J.C.O. A structural literature review of the single minute exchange of die: the latest trends. **Procedia**

Manufacturing, v. 17, p. 783-790, 2018. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.129>

GOPI, V.; SALEESHYA, P.G. Modelling the inhibitors of integrated sustainable lean manufacturing system in the South Indian SMEs using fuzzy logic. **Journal of Modelling in Management**, v. 19, n. 3, p. 842-870, 2024. DOI:
<https://doi.org/10.1108/JM2-05-2023-0107> .

JOSHI, S.; SHARMA, M.; BARTWAL, S.; JOSHI, T.; PRASAD, M. Critical challenges of integrating OPEX strategies with I4.0 technologies in manufacturing SMEs: a few pieces of evidence from developing economies. **The TQM Journal**, v. 36, n. 1, p. 108-138, 2024. DOI: DOI: <https://doi.org/10.1108/TQM-08-2022-0245>

KALEMKERIAN, F.; POZZI, R.; TANCO, M.; CREAZZA, A.; SANTOS, J. Unlocking circular economy potential: evaluating production processes through circular value stream mapping in real case studies. **Management of Environmental Quality**, v. 35, n. 3, p. 610-633, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1108/MEQ-08-2023-0244>

KALEMKERIAN, F.; SANTOS, J.; TANCO, M.; GARZA-REYES, J.A.; VILES, E. Analysing the alignment between the Green Lean and circular strategies: towards a Circular Lean approach. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 33, n. 6, p. 1059-1079, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2021-0480>

KASWAN, M.S.; RATHI, R.; GARZA-REYES, J.A.; ANTONY, J. Green Lean Six Sigma sustainability – oriented project selection and implementation framework for manufacturing industry. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 14, n. 1, p. 33-71, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2020-0212>

KATSIGIANNIS, M.; PANTELIDAKIS, M.; MYKONIATIS, K. Assessing the transition from mass production to lean manufacturing using a hybrid simulation model of a LEGO® automotive assembly line. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 15, n. 2, p. 220-246, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-07-2022-0165>

KEYSER, R.; POOYAN, P. Lean on the shop floor: setup time reduction with soft systems methodology. **Journal of Applied Research on Industrial Engineering**, v. 10, n. 4, p. 563-574, 2023. DOI: <https://doi.org/10.22105/jarie.2022.353927.1495>

KIPPER, L.M.; NARA, E.O.B.; SILUK, J.C.M.; CAURIO, C.; SILVA, A.L.E.; SILVA, J.I. Organisational management through performance indicators. **International Journal of Services and Operations Management**, v. 34, n. 4, p. 447-464, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2019.103986>

KIRAN, E.; OZKAN-OZEN, Y.D.; OZTURKOGLU, Y. A solution approach proposal with a lean perspective for the poultry sector with WRM and BWM integration. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 41, n. 5, p. 1290-1307, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2023-0105>

KOSE, Y.; CIVAN, H.N.; AYYILDIZ, E.; CEVIKCAN, E. An Interval Valued Pythagorean Fuzzy AHP–TOPSIS Integrated Model for Ergonomic Assessment of

Setup Process under SMED. **Sustainability**, v. 14, n. 21, p. 13804, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su142113804>

KUMAR, N.; SINGH, A.; GUPTA, S.; KASWAN, M. S.; SINGH, M. Integration of Lean manufacturing and Industry 4.0: a bibliometric analysis. **The TQM Journal**, v. 36, n. 1, p. 244-264, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2022-0243>

LIMA, D.F.S.; ALCANTARA, P.G.F.; SANTOS, L.C.; SILVA, L.M.F.; SILVA, R.M. Mapeamento do fluxo de valor e simulação para implementação de práticas lean em uma empresa calçadista. **Revista Produção Online**, v. 16, n. 1, p. 366-392, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v16i1.2183>

MITTAL, R.; SHAMEEM, H. A framework for lean tool selection in the label printing industry for sustainable growth. **Int J Syst Assur Eng Manag**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13198-024-02257-3>

MODOI, O.C.; MIHAI, F.C. E-Waste and End-of-Life Vehicles Management and Circular Economy Initiatives in Romania. **Energies**, v. 15, n. 3, p. 1120, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15031120>

MOHAMMAD, A.; HAMJA, A.; HASLE, P. Reduction of changeover time through SMED with RACI integration in garment factories. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 15, n. 2, p. 201-219, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1108/ijlss-10-2021-0176>

MORAES, J.A.R.; SILVA, A.L.E.; SANTOS, L.M.A.L.; REIS, L.V.; MALLMANN, M.A. Produção mais limpa como ferramenta para o diferencial competitivo em empresas de pequeno porte: um apanhado geral e análise dos principais pontos da ferramenta. **International Journal of Scientific Management and Tourism**, v. 10, n. 2, e736, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/ijsmtv10n2-001>

NEACȘU, G.C.; NIȚU, E.L.; GAVRILUȚĂ, A.C.; VLAD, G.G.; DOBRE, E.M.; GHEORGHE, M.; STAN, M.M. Process Analysis and Modelling of Operator Performance in Classical and Digitalized Assembly Workstations. **Processes**, v. 12, n. 3, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr12030533>

NEGRÃO, L.L.L.; JABBOUR, A.B.L.S.; LATAN, H.; GODINHO FILHO, M.; JABBOUR, C.J.C.; GANGA, G.M.D. Lean manufacturing and business performance: Testing the S-curve theory. **Prod. Plan. Control**, v. 31, n. 10, p. 771-785, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1683775>

NIEKURZAK, M.; LEWICKI, W.; COBAN, H.H.; BERA, M. A Model to Reduce Machine Changeover Time and Improve Production Efficiency in an Automotive Manufacturing Organisation. **Sustainability**, v. 15, n. 13, p. 10558, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151310558>

OLIVEIRA, C.; LIMA, T.M. Setup Time Reduction of an Automotive Parts Assembly Line Using Lean Tools and Quality Tools. **Eng.**, v. 4, n. 3, p. 2352-2362, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/eng4030134>

PAGLIOSA, M.; TORTORELLA, G.; FERREIRA, J.C.E. Industry 4.0 and Lean Manufacturing: A systematic literature review and future research directions. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 32, n. 3, p. 543-569, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2018-0446>

PATTARO JUNIOR, R.G.; INÁCIO, R.H.; SILVA, I.B.; HASSUI, A.; BARBOSA, G. F. A novel framework for single-minute exchange of die (SMED) assisted by lean tools. **Int J Adv Manuf Technol**, v. 119, p. 6469-6487, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08534-w>

PAWLAK, S. The Impact of Selected Lean Manufacturing Tools on the Level of Delays in the Production Process. A Case Study. **Management Systems in Production Engineering**, v. 32, n. 1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.2478/mspe-2024-0011>

PEÇAS, P.; FAUSTINO, M.; LOPES, J.; AMARAL, A. Lean methods digitization towards lean 4.0: a case study of e-VMB and e-SMED. **Int J Interact Des Manuf.**, v. 16, p. 1397-1415, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12008-022-00975-1>

ROSA, S. C. F.; LEITÃO, J. O. M.; SILVA, A. L. E.; THIER, F. Analysis of maintenance management in a polymer processing company. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 6, n. 3, p. 0377-0382, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18540/jcecvl6iss3pp0377-0382>

RATHI, S.S.; SAHU, M.K.; KUMAR, S. Implementation of lean manufacturing methods to improve rolling mill productivity. **International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration**, v. 11, n. 111, p. 243-256, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.19101/IJATEE.2023.10102004>

RUPPERT, T.; CSALODI, R.; ABONYI, J. Estimation of machine setup and changeover times by survival analysis. **Computers and Industrial Engineering**, v. 153, p. 107026, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.107026>

SCHWENGBER, H.; KIPPER, L. M.; SILVA, A. L. E.; KESSLER, G. Z.; OLIVEIRA, M. P.; KOCH, T. A. Principles of lean manufacturing and value stream mapping: pathways to the reduction of waste in an entertainment business and industry information. **Espacios (Caracas)**, v. 38, n. 28, p. 22, 2017.

SHAH, D.; PATEL, P. Productivity improvement by implementing lean manufacturing tools in the manufacturing industry. **International Research Journal of Engineering and Technology**, v. 5, n. 3, p. 3-7, 2018.

SILVA, A. L. E.; SILVA, V. C.; KIPPER, L. M.; CARVALHO, F. S.; MORAES, J. A. R. Aumento do desempenho fabril sob a luz da teoria das restrições: o caso de uma fábrica de colchões. **Revista Produção Online**, v. 17, n. 1, p. 3-25, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v17i1.2321>

SILVA, I. B.; GODINHO FILHO, M. Single-minute exchange of die (SMED): a state-of-the-art literature review. **Int J Adv Manuf Technol**, v. 102, p. 4289-4307, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03484-w>

STAPELBROEK, M.; KILIC, O. A.; YANG, Y.; VAN DONK, D. P. Eliminating production losses in changeover operations: a case study on a major European food manufacturer. **Production Planning & Control**, v. 35, n. 8, p. 794-807, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2022.2136041>

SUGARINDRA, M.; IKHWAN, M.; SURYOPUTRO, M.R. Single Minute Exchange of Dies as the Solution on Setup Processes Optimization by Decreasing Changeover Time, A Case Study in Automotive Part Industry. **IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.**, p. 598, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/598/1/012026>

TOKI, G.F.I.; AHMED, T.; HOSSAIN, M.E.; ALAVE, R.K.K.; FARUK, M.O.; MIA, R.; ISLAM, S.R. Single Minute Exchange of Die (SMED): A sustainable and well-timed approach for Bangladeshi garments industry. **Clean. Eng. Technol.**, v. 12, p. 100592, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100592>

TORRI, M.; KUNDU, K.; FRECCASSETTI, S.; ROSSINI, M. Implementation of lean in IT SME company: an Italian case. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 12, n. 5, p. 944-972, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2020-0067>

WAKIRU, J. M.; PINTELON, L.; MUCHIRI, P.; CHEMWENO, P. Integrated maintenance policies for performance improvement of a multi-unit repairable, one product manufacturing system. **Production Planning & Control**, v. 32, n. 5, p. 347-367, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1736684>

WIJESINGHE, P.B.; ILLANKOON, P. Improving the waste to energy supply chain through increased overall equipment effectiveness. **Journal of Global Operations and Strategic Sourcing**, v. 17, n. 2, p. 271-299, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1108/JGOSS-06-2022-0068>

YAZICI, K.; GÖKLER, S.H.; BORAN, S. An integrated SMED-fuzzy FMEA model for reducing setup time. **J Intell Manuf**, v. 32, p. 1547-1561, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10845-020-01675-x>

ZHANG, W.; CHEN, G.; GONG, Q. Setup improvement review and trend. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 14, n. 7, p. 1354-1375, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-08-2022-0192>

Autores

André Luiz Emmel Silva

Doutor em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). Professor na graduação e Pós-Graduação na Universidade de Santa Cruz do Sul. Experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Gestão de Produção, atuando principalmente nos seguintes temas: pesquisa operacional, planejamento e controle da produção, produção mais limpa e impressão 3D.

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 24, n. 4, e-5319, 2024.

Jean Marques Martins

Especialista em Lean Manufacturing pela Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). Experiência em manufatura enxuta atuando principalmente nos seguintes temas: SMED, just-in-time, Kanban e indicadores de desempenho.

Jorge André Ribas Moraes

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Professor na graduação e Pós-Graduação na Universidade de Santa Cruz do Sul. Experiência na área de Engenharia Sanitária, com ênfase em Gestão Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: produção mais limpa; produção enxuta, gestão ambiental; gestão de riscos, qualidade e produtividade; segurança do trabalho e ergonomia e melhoria de processos.

Flávio Régio Brambilla

Doutor em Administração pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Professor na graduação e Pós-Graduação na Universidade de Santa Cruz do Sul. Pesquisador e consultor organizacional na área da Administração, especialmente em Marketing, com ênfase orientada para o estudo da Lógica Dominante do Serviço e da Cocriação de Valor.

Eduardo Baldo Moraes

Graduando em Engenharia de Produção. Cursando graduação em Engenharia de Produção na Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). Experiência em projetos de Sistemas Enxutos de Produção e Indústria 4.0.



Artigo recebido em: 26/06/2024 e aceito para publicação em: 26/09/2024

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v24i4.5319>