

Impactos da distância entre células no tempo de ciclo e ergonomia

Anna Beatriz Pires Prado Teixeira (UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO) anna.teixeira@discentes.fat.uerj.br

Igor Santos Moura (UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO) igormoura36@gmail.com

Davidson de Almeida Santos (UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO) prof.davidson.santos@gmail.com

Resumo

O estudo analisa os efeitos da implantação de uma nova célula em um processo produtivo automotivo, especialmente no que se refere às implicações ergonômicas, produtivas e ao aumento do tempo de ciclo causado pelos deslocamentos entre células. O objetivo é avaliar como a distância entre as células A e B afeta o tempo de ciclo, o esforço físico dos operadores e o dimensionamento da mão de obra, utilizando as ferramentas MTM-UAS e METEO para quantificação dos efeitos. De natureza bibliográfica e abordagem qualitativa, a pesquisa incluiu observações diretas, medições de deslocamento e análise de tempos teóricos. Os resultados indicaram que o transporte manual das laterais automotivas acrescenta 16,40 segundos ao ciclo, ultrapassando o limite de saturação e comprometendo o ritmo originalmente planejado da linha. Os deslocamentos frequentes, somados aos esforços de puxar e empurrar aumentam a carga biomecânica e intensificam a fadiga ao longo do turno, afetando a fluidez do fluxo e elevando a probabilidade de estoques intermediários. Identificou-se que a configuração inadequada do layout, associada ao afastamento entre as células, demanda a inclusão de recursos operacionais adicionais para assegurar o atendimento da produtividade planejada. O estudo demonstra que a integração entre MTM-UAS e METEO oferece uma abordagem estruturada para antecipar impactos ergonômicos e produtivos, destacando a importância da análise prévia de fluxos e distâncias na tomada de decisão para novos arranjos físicos.

Palavras-Chaves: *ergonomia, tempo de ciclo, layout celular, mtm-uas; meteo.*

1. Introdução

A produção de veículos automotivos é um processo complexo, sustentado por integração tecnológica e direcionado à manufatura em larga escala, no qual múltiplos elementos independentes e interdependentes são soldados, resultando em uma estrutura unificada e funcional (Schützenberger et al. 2024; Hansen et al. 2018). O processo fabril é organizado em diferentes níveis, estruturados em células principais, secundárias e de partes móveis (Kiefer, 2007). Em determinadas etapas, subconjuntos são pré-soldados em uma célula específica e, posteriormente, transferidos para outra célula para dar continuidade ao processo, operação que frequentemente envolve interprocessos manuais (Kiefer, 2007).

Em diversos ambientes industriais, tarefas que exigem o empurrar ou puxar contínuo de equipamentos sobre rodas, como os carrinhos de transporte manual de materiais (Manual Material Handling Carts), demandam esforço físico considerável, podendo causar distúrbios musculoesqueléticos e comprometer o desempenho produtivo (Gille, 2025).

Nesse contexto, é fundamental demonstrar como a configuração do processo produtivo automotivo e o arranjo físico das células influenciam o fluxo de materiais, o desempenho operacional e a carga física dos operadores (Oliveira, 2017; Gille, 2025). Ao examinar a movimentação manual de subconjuntos entre células e os efeitos de um dimensionamento inadequado, o estudo contribui para a otimização do layout, a redução da sobrecarga ergonômica e o aumento da eficiência produtiva, oferecendo subsídios à gestão de operações em ambientes industriais complexos.

O objetivo é avaliar os efeitos da implantação de uma nova célula de produção no setor de chaparia sobre a necessidade de mão de obra operacional, considerando os impactos nos esforços físicos, nas condições ergonômicas e na eficiência do processo.

A questão central que orienta o estudo é: de que maneira a implantação de uma nova célula de produção influencia a necessidade de mão de obra operacional, as condições ergonômicas dos operadores e a eficiência produtiva?

Ao longo deste trabalho, será apresentada uma análise detalhada do interprocesso manual, identificando os impactos decorrentes da sua implementação. Em seguida, serão discutidos os fundamentos teóricos do MTM-UAS, ergonomia, METEO e arranjo físico celular.

2. Referencial Teórico

Esta seção descreve os fundamentos conceituais e teóricos que sustentam o estudo, explorando temas como o MTM-UAS para estimativa do tempo de ciclo teórico, o METEO como metodologia de análise ergonômica e o arranjo físico celular.

2.1 MTM-UAS

O método MTM-UAS é uma derivação do sistema MTM (*Methods-Time Measurement*), que pré-determina os tempos de execução para cada etapa do processo (Schwarz *et al.* 2018). Parte do princípio de que movimentos básicos realizados na sequência correta são mais eficientes e menos sujeitos a erros, sendo amplamente aplicado na fase de planejamento de processos de produção na indústria (Schwarz *et al.* 2018).

As unidades de tempo utilizadas são chamadas TMU (*Time Measurement Unit*), onde 1 segundo equivale a 0,036 TMU (Schwarz *et al.* 2018). Os componentes do processo são organizados de forma linear e em blocos, resultando em procedimentos detalhados, como apanhar e posicionar a chave de fenda (Schwarz *et al.* 2018).

O MTM-UAS é estruturado em dois tipos de processo: tipo 1, voltado à fabricação em série, e tipo 2, aplicado à fabricação em lote, ambos pressupõem produção em escala industrial (Schwarz *et al.* 2018). Esse enfoque permite minimizar o tempo necessário, já que os movimentos e tarefas ocorrem de forma regular e rápida, aumentando a eficiência do processo (Schwarz *et al.* 2018).

Dessa forma, é possível estimar com maior precisão os tempos de ciclo previsional das operações manuais, assegurando que a quantidade de mão de obra operacional disponível seja suficiente para atender à demanda produtiva (Schwarz *et al.* 2018).

2.2 Ergonomia e esforço físico em processos industriais

Desde o início das civilizações, o ser humano busca formas de desenvolver ferramentas e utensílios para facilitar a sua sobrevivência (Moraes e Mont'alvão 2009). Com o surgimento de novas tecnologias, tornou-se necessária a adaptação dos sistemas produtivos às particularidades humanas (Moraes e Mont'alvão, 2009). Essa inadequação entre o ser humano e os sistemas tecnológicos se evidenciou durante a Segunda Guerra Mundial, destacando a importância de ajustar o ambiente de produção ao trabalhador (Quadros *et al.* 2015).

Nesse contexto, a ergonomia consolidou-se como um campo essencial de estudo, desenvolvendo soluções capazes de acompanhar as constantes transformações da manufatura e promover maior eficiência e segurança nos processos produtivos (Quadros *et al.* 2015).

O propósito prático da ergonomia é adaptar o posto de trabalho, dos instrumentos, dos horários, das máquinas e do meio ambiente às condições do homem (Álvares, 2004). O comprimento desses objetivos, no nível industrial, oferece maior facilidade na execução de tarefas e otimiza o desempenho dos esforços humanos (Álvares, 2004).

Em atividades cíclicas, nas quais os trabalhadores estão continuamente expostos a operações repetitivas de manipulação manual de cargas, é possível observar queda no desempenho operacional e, conseqüentemente, queda no ritmo de trabalho e aumento no tempo de ciclo (Hunter, 2001).

As empresas que priorizam a ergonomia observam uma redução no absenteísmo, já que a menor incidência de doenças e acidentes que exigem afastamento beneficia tanto a saúde dos colaboradores quanto a produtividade organizacional (Nunes e Machado, 2007).

2.3 METEO

O METEO (*Méthode d'Évaluation du Travail et de l'Organisation*) é uma metodologia de ergonomia desenvolvida para avaliar e aprimorar as condições de trabalho nas linhas de montagem da indústria automotiva (Tuccino, 2015). A metodologia é organizada em cinco áreas de análise, com classificação de risco em três faixas: verde (baixo), amarela (médio) e vermelha (alto). A área A, dedicada aos riscos musculoesqueléticos, inclui três seções: A1, relacionada à força e ao gasto energético; A2, à postura do corpo inteiro; e A3, à força e postura dos membros superiores, considerando intensidade do esforço, frequência das ações e ângulos articulares de punho, cotovelo e ombro (Tuccino, 2015).

O METEO funciona como um check-list de 1º nível, permitindo uma triagem rápida de tarefas com baixo risco, enquanto situações de risco médio ou elevado requerem avaliação mais detalhada de 2º nível (Tuccino, 2015). Os resultados obtidos são utilizados para calcular um acréscimo no tempo de ciclo do MTM-UAS, refletindo a necessidade de pausas, ajustes posturais e condições ergonômicas durante a execução das tarefas, permitindo determinar de forma mais realista o tempo final de cada operação e do ciclo completo da estação de trabalho (Tuccino, 2015).

2.4 Arranjo físico da chaparia

As células de fabricação no setor automotivo são utilizadas principalmente para a junção de conjuntos, podendo funcionar como uma ilha de produção isolada ou como parte integrante de uma linha de produção (Kiefer, 2007). De modo geral, uma célula de fabricação é composta por um centro de usinagem e um sistema externo de armazenamento de peças (Kiefer, 2007).

O layout da chaparia é organizado em células devido à necessidade de otimizar o fluxo de produção, reduzir deslocamentos e aumentar a eficiência operacional. Nessa configuração, máquinas e operações relacionadas são agrupadas de forma que operadores e peças percorrem menores distâncias, diminuindo o esforço físico e o tempo gasto com transporte interno (Kiefer, 2007). Cada célula pode ser dedicada a uma família de peças ou a um tipo específico de produto, tornando o fluxo mais linear e previsível, o que facilita o balanceamento da linha e a identificação de falhas (Kiefer, 2007). Além disso, o layout celular proporciona maior flexibilidade para adaptações na produção e permite a aplicação de princípios de produção enxuta, como a redução de estoques intermediários e de movimentações desnecessárias, contribuindo para a melhoria contínua do processo (Kiefer, 2007).

Com base no funcionamento do processo produtivo, são definidas as divisões do fluxo de trabalho, a distribuição adequada da infraestrutura de produção dentro da planta, a atribuição de responsabilidades e a sequência lógica das operações, com o objetivo de garantir eficiência e continuidade na produção (Kosieradzka, 2008; Wolniak, 2013).

Os elementos que compõem a linha de produção, relacionados ao layout de instalação, desempenham um papel crucial na melhoria da produtividade (Friedrich *et al.* 2018). Nesse contexto, a utilização eficiente da infraestrutura disponível constitui um dos principais objetivos do planejamento do arranjo físico (Friedrich *et al.* 2018).

Uma vez que a configuração inadequada dos postos de trabalho aumenta a dependência de transferências manuais de peças soldadas das ilhas secundárias para a linha de integração e, conseqüentemente, os operadores são sobrecarregados devido aos deslocamentos e ao peso das atividades cíclicas, elevando o tempo de ciclo e os custos de produção, e comprometendo o balanceamento da linha (Hu *et al.* 2011).

A seção a seguir apresenta, de maneira aprofundada, a metodologia que orientou o desenvolvimento deste estudo.

3. Metodologia

A metodologia foi estruturada da seguinte forma: delineamento de pesquisa, cenários e participantes e coleta de dados.

3.1 Delineamento da pesquisa

O presente estudo foi conduzido sob uma abordagem qualitativa, por meio da análise crítica do conhecimento teórico, com o objetivo de investigar os impactos decorrentes da implantação de uma nova célula de produção no setor de chaparia. Corresponde a uma pesquisa de natureza de caráter bibliográfico, elaborada a partir de informações obtidas em artigos científicos, revistas especializadas, livros, teses e outras fontes pertinentes. Essa metodologia fornece a fundamentação teórica necessária para compreender as consequências do dimensionamento inadequado do layout, por meio da análise dos efeitos do arranjo produtivo sobre o tempo de ciclo das operações e sobre a ergonomia dos operadores.

3.2 Cenário e participantes

O estudo considera duas células que possuem uma relação de causalidade em uma indústria automobilística. A primeira célula, denominada “A”, é responsável pela lateral, enquanto a célula “B” corresponde à última etapa do processo de soldagem. O deslocamento é realizado por meio de entre processos manuais, ou seja, o operador responsável pela célula “A”, utiliza um carrinho auxiliar para posicionar a lateral na borda de linha da célula B.

3.3 Coleta de dados

O posicionamento relativo das células de soldagem na indústria automotiva é considerado a variável independente, cuja distância entre elas é utilizada para verificar suas influências no processo produtivo. E por consequência, o tempo de ciclo e o METEO são tratados como variáveis dependentes, pois sofrem impactos diretos das alterações.

A distância entre as células é de 25m, estimada a partir do layout fornecido pela planta e o tempo de ciclo considerado para as operações A e B é de 105 segundos. Como a saturação máxima permitida é de 90%, o tempo de ciclo teórico não deve ultrapassar 94,5 segundos, já contemplando atividades que agregam e não agregam valor. Se o tempo teórico ultrapassar o limite, é preciso realizar alterações no posto ou incluir mão de obra para ajustar a carga de trabalho e estabilizar a saturação.

Nesse contexto, o interprocesso manual ocorre de forma frequencial, ou seja, não se repete a cada ciclo. A proposta de produção considera embalagens com quatro peças, sendo

que apenas trinta e cinco por cento do volume produzido será realizado por meio das operações A e B. Com base no MTM-UAS, elaborou-se o acréscimo ao tempo de ciclo teórico referente ao deslocamento entre as células e a frequência relativa ao deslocamento.

Tabela 1 - Aumento considerado no tempo de ciclo teórico

Movimento	TMU	Frequência	Tempo (s)
Deslocamento da borda de linha da OP A até carrinho de interprocesso manual	50	0,25	0,90
Apanhar carrinho de interprocesso manual e posicionar na OP B	150	0,25	2,70
Flexão de tronco com meio auxiliar	60	0,25	0,54
Deslocamento da OP A até a OP B	625	0,25	5,63
Deslocamento da OP B até a OP A	625	0,25	5,63
Total			15,40

Fonte: Elaborado pelos autores

Assim, o tempo de deslocamento entre as operações é de 15,40 segundos por ciclo. Considerando os fatores ergonômicos, a penalidade média na fase pré-projeto é de 10%, o que eleva o tempo de ciclo para 16,40 segundos.

3.4 Avaliação dos impactos do mau dimensionamento da célula de soldagem

A introdução de uma nova célula de soldagem, especialmente quando integrada a uma já existente, pode gerar impactos significativos na produtividade, na segurança e na ergonomia dos operadores. Alterações no layout, na disposição de equipamentos, na interação entre as células e no fluxo de materiais podem aumentar o tempo de ciclo das operações, gerar movimentos desnecessários, dificultar o acesso a áreas de trabalho e elevar o risco de esforços repetitivos ou posturas inadequadas, comprometendo tanto a eficiência produtiva quanto o bem-estar dos operadores.

A análise é baseada em estudos disponíveis nas bases ScienceDirect e Web of Science, utilizando a expressão ("layout" OR "workstation design" OR "ergonomics" OR "cycle time") AND ("welding cell" OR "manufacturing" OR "industrial"). O estudo considera apenas artigos em que esses termos aparecem no título, no resumo ou nas palavras-chave. Como critérios de seleção, adotaram-se os anos de publicação entre 2020 e 2025 e os idiomas inglês e português. Por meio desse procedimento, levantaram-se estudos recentes sobre os impactos do layout, do tempo de ciclo e da ergonomia em células de soldagem.

Tabela 2 - Resumo do procedimento de pesquisa

Critério de busca	Seleção dos artigos
Base de dados	ScienceDirect e Web of Science
Tipo de pesquisa	Título do artigo, resumo, e palavras-chave
Termo de pesquisa	("layout" OR "workstation design" OR "ergonomics" OR "cycle time") AND ("welding cell" OR "manufacturing" OR "industrial")
Horizonte de tempo	2020-2025
Idioma	Ingles e Portugues

Fonte: Elaborado pelos autores

Todas as etapas foram conduzidas pelo pesquisador, entre julho e outubro de 2025, que se responsabilizou pela aplicação dos instrumentos e pelo acompanhamento das atividades no ambiente estudado. Os dados obtidos foram registrados manualmente em formulários e, posteriormente, armazenados em planilhas digitais.

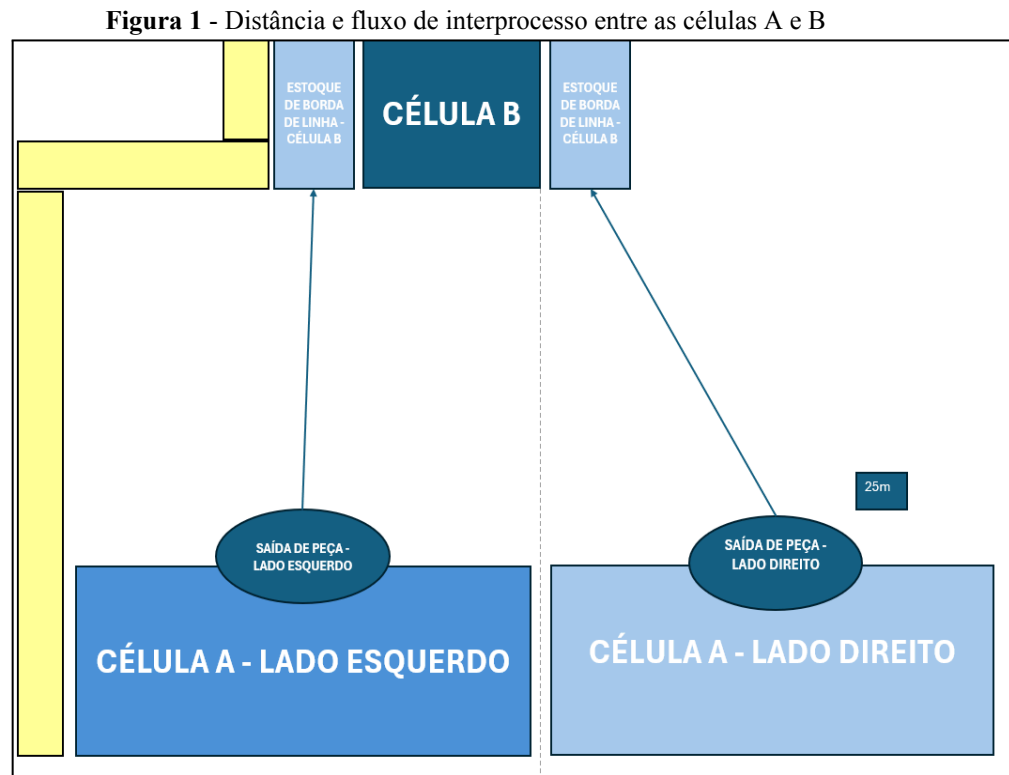
4. Resultados

A análise dos resultados demonstra que a implementação de uma nova célula gera impactos significativos no desempenho produtivo, na ergonomia dos operadores e no dimensionamento da mão de obra necessária para atender à demanda planejada. A distância de 25 metros entre as células, identificada no layout da planta, combinada à necessidade de deslocamentos frequentes utilizando o carrinho auxiliar, representa um elemento crítico do processo, pois exige a realização de interprocessos manuais para o transporte das laterais automotivas.

Nesse cenário, o deslocamento entre as células de soldagem gerou impactos expressivos tanto no tempo de ciclo das operações quanto nas condições ergonômicas dos operadores responsáveis pelo interprocesso manual. A análise pelo MTM-UAS indicou um acréscimo de 15,40 segundos ao tempo de ciclo teórico por operação. Quando se incorpora a penalidade ergonômica média de 10%, conforme diretrizes do METEO, esse valor se eleva para 16,40 segundos por ciclo. O impacto desse acréscimo torna-se evidente quando comparado ao limite máximo de saturação permitido para a operação, de 94,5 segundos, representando aproximadamente 16% do tempo total de ciclo.

Em termos produtivos, o aumento do tempo de ciclo gera efeitos sistêmicos no fluxo da linha. O operador da célula A, ao dedicar parte significativa de seu tempo ao deslocamento

até a célula B, conforme demonstrado na Figura 1, deixa de cumprir o ritmo estabelecido pelo balanceamento da linha.



Fonte: Elaborado pelos autores

Estudos recentes demonstram que deslocamentos, extensões e flexões de tronco frequentes, além da manipulação de equipamentos auxiliares, contribuem para o aumento do esforço físico e do risco de distúrbios musculoesqueléticos (Quadros *et al.* 2015; Gille, 2025). A presença de movimentos repetitivos e esforços de tração e empurrar associados ao carrinho de interprocesso reforça a penalidade de tempo adicionada pelo METEO, evidenciando que a configuração do layout não apenas reduz o desempenho produtivo, mas também intensifica a sobrecarga dos operadores.

Além disso, o tempo de deslocamento influencia diretamente o balanceamento da linha de produção, pois o esforço físico intensifica a fadiga e reduz o desempenho ao longo do turno. Esse efeito pode provocar saturação entre operações, aumento de estoques intermediários e perda de ritmo produtivo. Os resultados observados estão alinhados com a literatura sobre arranjo físico celular, que evidencia que distâncias excessivas entre estações reduzem a eficiência, prejudicam a fluidez do fluxo produtivo e elevam o custo operacional (Kiefer, 2007; Friedrich *et al.* 2018).

Nesse sentido, a fim de atender as demandas de produção, destaca-se que um eventual aumento da necessidade de mão de obra decorrente ao acréscimo no tempo de ciclo das operações manuais, caso não seja realizado o redimensionamento do layout. Essa necessidade é diretamente influenciada pela distância entre células, onde quanto maior o deslocamento, maior a tendência de saturação e maior a probabilidade de que o operador assuma uma carga física que reduz sua eficiência ao longo do turno.

Portanto, o estudo demonstra que a implantação da nova célula, sem a análise prévia das distâncias, dos fluxos e das exigências ergonômicas, gera efeitos adversos que se manifestam simultaneamente no tempo de ciclo, na ergonomia, no fluxo produtivo e no dimensionamento da mão de obra. A combinação de ferramentas como MTM-UAS e METEO mostrou-se eficaz para antecipar problemas e fundamentar tecnicamente decisões de investimento em layout. Quando o tempo de ciclo ultrapassa o limite de saturação, como no caso analisado, torna-se necessário incluir operadores adicionais ou revisar o layout da planta para que a célula opere dentro dos parâmetros planejados. Esse comportamento confirma achados acadêmicos que apontam que a inadequação ergonômica leva à queda de produtividade e ao aumento de custos associados tanto ao retrabalho quanto à saúde ocupacional (Nunes e Machado, 2007).

5. Conclusão

O presente estudo teve como objetivo analisar os impactos decorrentes da implantação de uma nova célula de produção no setor de body shop, considerando seus impactos sobre o tempo de ciclo das operações, a ergonomia dos operadores e o dimensionamento da mão de obra necessária para melhor eficiência produtiva. Os resultados obtidos pela aplicação das metodologias MTM-UAS e METEO, aliadas à análise do arranjo físico produtivo, foi possível compreender de forma panorâmica como o posicionamento inadequado das células e a dependência de interprocessos manuais influenciam negativamente o desempenho operacional.

Os resultados demonstram que a distância de 25 metros entre as células de soldagem gera um acréscimo de 16,40 segundos ao tempo de ciclo, valor significativo que compromete o limite de saturação permitido e altera as operações que atendem aos requisitos. Evidências práticas indicam que a elevada carga de trabalho, os deslocamentos frequentes, as flexões de tronco e a manipulação de carrinhos auxiliares sobrecarregam fisicamente o operador, aumentando o risco de distúrbios musculoesqueléticos e intensificando a fadiga ao longo do turno. Esses achados destacam que o layout inadequado prejudica não apenas o desempenho

da linha, mas também a saúde e o conforto dos trabalhadores, corroborando estudos recentes sobre ergonomia industrial e arranjo físico celular.

Neste estudo, a análise das estações de trabalho foi integrada à simulação Promodel com o objetivo de otimizar o layout de uma fábrica de confecção. Os resultados mostraram que o novo layout reduziu o nível de risco geral e melhorou as pontuações da Avaliação Rápida de Membros Superiores (RULA). A inclusão de critérios ergonômicos no planejamento das instalações atendeu às necessidades dos trabalhadores, resultando em um aumento de 78% na eficiência e de 194% na produtividade em relação ao layout anterior, demonstrando a eficácia dessa abordagem na melhoria do projeto das instalações.(Abad *et al.* 2018).

Para trabalhos futuros, é importante realizar simulações computacionais de fluxo para validar diferentes alternativas de layout antes da implementação, bem como estudos experimentais que avaliem, na prática, a redução real da fadiga e a melhoria do desempenho após a reconfiguração proposta. Além disso, é relevante explorar a implementação de uma nova metodologia RULA para avaliação ergonômica do movimento, possibilitando uma análise mais detalhada das posturas e esforços dos trabalhadores no novo layout a ser implementado (Wamizatun *et al.* 2023)

Dessa forma, o estudo reforça a importância da análise integrada entre tempo, ergonomia e layout para a melhoria contínua de processos industriais, contribuindo tanto para o avanço do conhecimento acadêmico quanto para a prática profissional no setor automotivo.

REFERÊNCIAS

- ABAD, Jocelyn D. Ergonomics and simulation-based approach in improving facility layout. *Journal of Industrial Engineering International*, v. 14, n. 4, p. 783–791, dez. 2018.
- DÖRNNHÖFER, Martin; SCHRÖDER, Falk; GÜNTNER, Willibald A. Logistics performance measurement system for the automotive industry. *Logistics Research*, v. 9, n. 1, p. 11, dez. 2016.
- ESCORPIZO, Reuben; MOORE, Anne. The effects of cycle time on the physical demands of a repetitive pick-and-place task. *Applied Ergonomics*, v. 38, n. 5, p. 609–615, set. 2007.
- FRIEDRICH, C.; KLAUSNITZER, A.; LASCH, R. Integrated slicing tree approach for solving the facility layout problem with input and output locations based on contour distance. *European Journal of Operational Research*, v. 270, n. 3, p. 837-851, 2018.
- GILLE, Stephane. Design of Manual Handling Carts: A Novel Approach Combining Corrective Forces and Modelling to Prevent Injuries. *Safety*, v. 11, n. 1, p. 25, 10 mar. 2025.
- HAMIZATUN, M. F.; HAIKAL, S. A.; NIK MOHAMED, N. M. Z. Ergonomic Embedded in Designing Welding Assembly Tool for Automotive Manufacturing Process. **Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology**, v. 7, n. 2, p. 23–30, 30 nov. 2023.

HANSEN, Jan Ole; KAMPKER, Achim; TRIEBBS, Johannes. Approaches for flexibility in the future automobile body shop: results of a comprehensive cross-industry study. *Procedia CIRP*, v. 72, p. 995–1002, 2018.

HENDGES, Daniel Felipe; BRAZ DA SILVA, Devanildo. GESTÃO DO ARRANJO FÍSICO NO AMBIENTE DE TRABALHO: Estratégias para a concepção de espaços mais humanizados e eficientes. *Revista Estudos e Pesquisas em Administração*, v. 5, n. 3, 31 dez. 2021.

HU, S. J.; KO, J.; WEYAND, L.; EL MARAGHY, H. A.; LIEN, T. K.; KOREN, Y.; SHPITALNI, M. Assembly system design and operations for product variety. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v. 60, n. 2, p. 715–733, 2011.

HUNTER, Steve L. Ergonomic evaluation of manufacturing system designs. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 20, n. 6, p. 429–444, jan. 2001.

KIERFER, J. Mechatronikorientierte Planung automatisierter Fertigungszellen im Bereich Karosserierohbau. Dissertation. In: Bley, H.; Weber, C., editors. *Schriftreihe Produktionstechnik*, Band 43. Saarbrücken: Universität des Saarlandes; 2007.

KOSIERADZKA, A. Maturity model for production management. *Engineering Management in Production and Services*, v. 10, n. 1, p. 22–31, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2478/emj-2018-0018>

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). *Musculoskeletal disorders and workplace factors: a critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back*. Cincinnati: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, 1997. (NIOSH Publication No. 97-141). Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/97-141/>

NUNES, I. L.; MACHADO, V. C. *Merging ergonomic principles into lean manufacturing*. In: International Conference on Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, 2007. Anais [...]. [S.l.: s.n.], 2007. (e da ergonomia q quer mandar embora os peoes)

OLIVEIRA, Isaac Messias Diniz *et al.* Balanceamento de linha e arranjo físico: estudo de caso em uma linha de produção de cabines para máquinas de construção. *Exacta*, v. 15, n. 1, p. 101–110, 27 mar. 2017.

QUADROS, Rachel; OLIVEIRA, Tainá A. B. de; SANTOS, Flávio A. N. V. dos. Ergonomia e fatores humanos: uma questão de nomenclatura. In: CONGRESSO IDEMI, 9., 2015, Florianópolis. Anais... Florianópolis: IDEMI, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/316975345_Ergonomia_e_Fatores_Humanos_uma_questao_de_nomenclatura. Acesso em: 15 out. 2025.

ROCHA, Henrique. *Apostila da disciplina Arranjo Físico Industrial*. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Faculdade de Tecnologia, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/377151949_Apostila_da_disciplina_Arranjo_Fisico_Industrial_UNIVERSIDADE_DO_ESTADO_DO_RIO_DE_JANEIRO_-_Faculdade_de_Tecnologia_Prof_Henrique_Rocha/link/6596f8ec2468df72d3fac5bc/download. Acesso em: 25 out. 2025.

SCHÜTZENBERGER, Julian; REINIGER, Claus-Dieter; MANNS, Martin. Applicability of control systems for predicting adjustments of body shop fixtures. *Procedia CIRP*, v. 126, p. 1023–1028, 2024.

SCHWARZ, Therese E. *et al.* Forecasting Real Disassembly Time of Industrial Batteries Based on Virtual MTM-UAS Data. *Procedia CIRP*, v. 69, p. 927–931, 2018.

TUCCINO, Francesco. *Un viaggio dentro l'automobile: ergonomia e organizzazione del lavoro nel settore automotive in Europa*. 2015. Disponível em: <https://www.repertoriosalute.it/wp-content/uploads/2015/09/un-viaggio-dentro-lautomobile-francesco-tuccino.pdf>. Acesso em: 15 out. 2025.

WOLNIAK, R. Metody i narzędzia Lean Production i ich rola w kształtowaniu innowacji w przemyśle [Lean Production methods and tools and their role in shaping innovations in industry]. *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, v. 1, n. 3, p. 49–58, 2013.



XIV SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

“Sistemas Sustentáveis na Gestão Ambiental: Inovação e Governança de Dados como Foco Estratégico.”

João Pessoa, Paraíba, Brasil – 27 a 29 de maio de 2026.