


Aplicação do método DMAIC integrado aos princípios de neuroergonomia na melhoria do leiaute produtivo visando aumentar a produtividade



Application of the DMAIC method integrated with neuroergonomics principles to improve production layout aiming to increase productivity.

Marcello Iamauti Figueiredo 
Universidade de Taubaté - UNITAU
marcello.ifiqueiredo@unitau.br

Carla Regina de Moura Andrade 
Universidade de Taubaté - UNITAU
mouraandrade@prof.educacao.sp.gov.br

Roque Antônio de Moura 
Fatec São José dos Campos
roqueademoura33@gmail.com

específica desta pesquisa foi um modelo cientificamente validado e replicável para pequenas e médias empresas que contam com o fator humano como o fundamento cognitivo do sistema produtivo. Conclui-se que a sinergia entre DMAIC e neuroergonomia é um diferencial estratégico tanto para o desempenho operacional quanto para o bem-estar dos trabalhadores.

PALAVRAS-CHAVE: DMAIC; neuroergonomia; leiaute produtivo; manufatura enxuta; gestão empresarial.

ABSTRACT

This research investigated the integrated application of DMAIC methodology and neuroergonomics principles to improve production layout in a metalworking industry. The main problem addressed involved operational inefficiencies caused by inadequate physical arrangements, resulting in systemic waste and severe cognitive overload for the workforce, leading to low job performance and human errors in task execution. The gap identified in the literature is the lack of systematic integration between statistical process improvement (DMAIC) and the brain-at-work perspective, which is frequently neglected and does not respect human cognitive limitations in industrial design. The methodology used lean manufacturing resources, such as spaghetti diagrams and the Kanban system, aligned with neuroergonomics analysis to redesign workstations and production flows. The results demonstrated a reduction of up to 59% in operational displacements with savings of up to 47.2 linear meters per assembly cycle, enabling a 23% increase in overall productivity. Furthermore, the implementation of pneumatic devices in balance beams improved the perception of well-being and reduced physical and mental fatigue. The specific contribution of this research was a scientifically validated and replicable model for small and medium-sized enterprises that rely on the human factor as the cognitive foundation of the production system. It is concluded that the synergy between DMAIC and neuroergonomics is a strategic differentiator for both operational performance and worker well-being.

KEY-WORDS: DMAIC; neuroergonomics; production layout; lean manufacturing; business management.

Revista Processando o Saber

eISSN 2179-5150 · Vol 18, n. 01, 2026
Multidisciplinar · DOI · Revisão por pares

Faculdade de Tecnologia Praia Grande – FATEC
Períodicidade: Anual
revista@fatecpg.edu.br

Recebido: Jan 2026
Aceito: Mar 2026
Publicado: Jun 2026

URL: <https://www.fatecpg.edu.br/revista/index.php/ps/article/view/432>
DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.20027954>



RESUMO

Esta pesquisa investigou a aplicação integrada da metodologia DMAIC e dos princípios da neuroergonomia para aprimorar o leiaute de produção em uma indústria metalomecânica. O principal problema abordado envolveu ineficiências operacionais decorrentes de arranjos físicos inadequados, que resultam em desperdício sistêmico e sobrecarga cognitiva da força de trabalho, levando a baixo desempenho laboral e à ocorrência de erros humanos na execução das atividades. A lacuna identificada na literatura refere-se à ausência de integração sistemática entre a melhoria estatística de processos (DMAIC) e a perspectiva do cérebro no trabalho, frequentemente negligenciada e que não respeita os limites cognitivos humanos no projeto industrial. A metodologia utilizou recursos da manufatura enxuta, como diagramas de espaguete e o sistema Kanban, alinhados à análise neuroergonômica, para redesenhar estações de trabalho e fluxos de produção. Os resultados demonstraram uma redução de até 59% nos deslocamentos operacionais com economia de até 47,2 metros lineares por ciclo de montagem e que possibilitaram um aumento de 23% na produtividade geral. Além disso, a implementação de dispositivos pneumáticos em balancins melhorou a percepção de bem-estar e reduziu a fadiga físico-mental. A contribuição

INTRODUÇÃO

O cenário industrial contemporâneo e altamente competitivo demanda das organizações a busca incessante pela otimização de processos e maximização da eficiência operacional. No setor metalomecânico, essa pressão é acentuada pela necessidade de aumentar a produtividade, gerenciar custos e modernizar operações para manter a competitividade, muitas vezes utilizando ambientes imersivos para esse fim (Slack; Brandon-Jones; Johnston, 2018; Benevides *et al.*, 2025).

Segundo Womack e Jones (2004), metodologias consolidadas, como a manufatura enxuta, tornaram-se recursos estratégicos indispensáveis para esse objetivo. Apesar dos avanços em gestão, o problema central identificado em muitas linhas de montagem é a ineficiência operacional causada por um leiaute produtivo inadequado que se manifesta em desperdícios sistêmicos, como movimentação excessiva de pessoas e materiais, que não apenas elevam o tempo de ciclo, mas impõem uma sobrecarga física e cognitiva severa para a força laboral.

Arranjos físicos mal planejados geram pontos de estresse e confusão visual, levando à exaustão precoce e ao aumento da probabilidade de erro humano, ou seja, sobrecarga física e mental. Nesse sentido, a lacuna existente na literatura e na prática industrial está no fato de que abordagens tradicionais de melhoria de processos, como o ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) geralmente focado exclusivamente em dados quantitativos de produtividade, não observa aspecto neuroergonômico, que estuda além da biomecânica, o cérebro no trabalho e negligencia o fator humano como alicerce cognitivo, ignorando como a atenção, a memória no aprendizado da tarefa e a carga mental no desenho do ambiente fabril.

Nesse contexto, a neuroergonomia emerge como um campo promissor na interface entre o cérebro humano e sistemas de engenharia para avaliar a carga cognitiva e reduzir erros que contribuem como inovação aliada à metodologia DMAIC para melhorar o leiaute produtivo e assegurar operações mais balanceadas em uma indústria de equipamentos de cozinha industrial.

No setor metalomecânico, essa pressão é ainda mais acentuada pela necessidade de aumentar a produtividade, gerenciar custos e modernizar operações para manter competitividade, muitas vezes testadas previamente em ambientes imersivos (SENAI, 2021; Goulart *et al.*, 2024).

Segundo Womack e Jones (2004), metodologias consolidadas, como a manufatura enxuta, tornaram-se recursos estratégicos indispensáveis para esse objetivo. Nesse contexto, por exemplo, destaca-se a metodologia DMAIC que define, mede, analisa, melhora e controla e oferece uma abordagem estruturada e embasada em dados reais para otimização de leiautes produtivos (Pyzdek; Keller, 2018).

Nesse sentido, a neuroergonomia emerge como campo promissor na interface entre cérebro humano e sistemas de engenharia (Benvides *et al.*, 2025) combinados com a aplicação de tecnologias (Oliveira *et al.*, 2025) para avaliar carga cognitiva, melhorar colaboração humano-robô e reduzir erros nas linhas de montagem (Dehais *et al.*, 2020; Douibi *et al.*, 2021; De Moura *et al.*, 2025).

Souza (2018) propõem métodos neuroergonômicos para evitar exceder limites da carga cognitiva no labor o que pode ser facilmente adaptado com a aplicação tradicional do método DMAIC que estabelece uma correlação explícita (Requies *et al.*, 2018) com os impactos cognitivos e neuroergonômicos sobre os colaboradores que podem agregar valor transformador ao considerar o fator humano como alicerce fundamental do processo produtivo (Moura *et al.*, 2024; Silva *et al.*, 2024; Fernandes *et al.*, 2025).

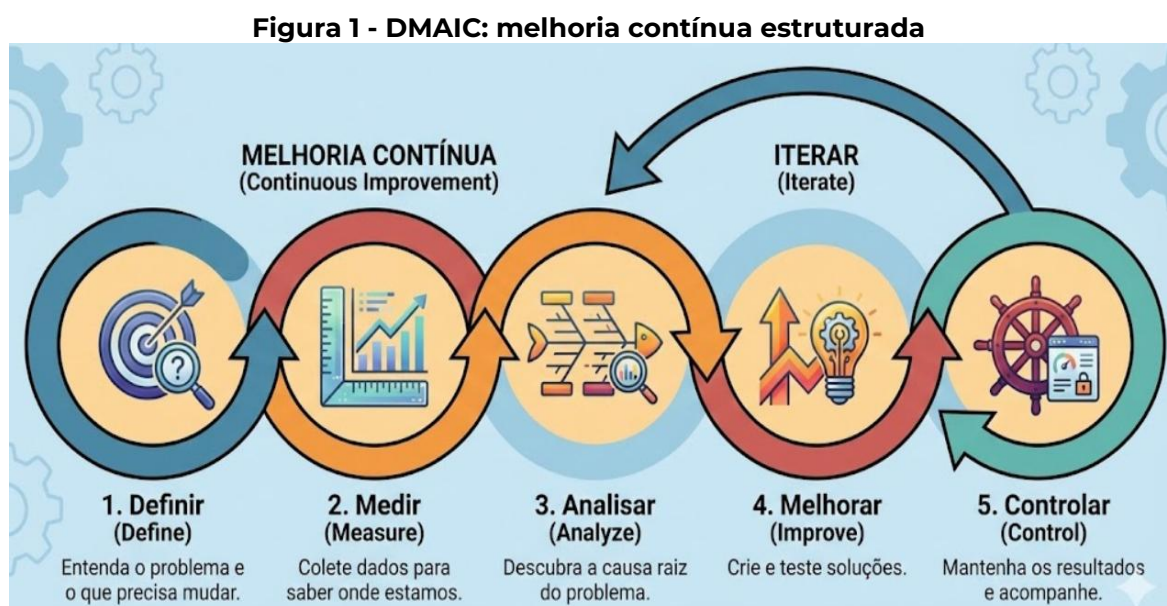
1. REVISÃO DA LITERATURA

A conscientização de que os recursos da manufatura enxuta transcende a mera filosofia de gestão, ao enfatizarem resultados e a maximização de valor por meio da eliminação sistemática de desperdícios sistêmicos e operacionais, é fundamental nesse contexto (Womack; Jones, 2004).

O arranjo físico ou leiaute é a configuração espacial e o posicionamento relativo dos recursos produtivos como máquinas, equipamentos, mobiliário, movimentações e fluxo do processo produtivo dentro de uma instalação produtiva ou de serviços (Slack; Brandon-Jones; Johnston, 2018).

1.1 METODOLOGIA DMAIC

Segundo Pyzdek e Keller (2018), o método DMAIC constitui-se como estrutura robusta e estruturada na filosofia Sigma, caracterizando-se como abordagem científica e sistemática para resolução de problemas complexos e otimização de processos. Esse método é executado por meio de cinco fases: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar, embasadas em históricos e em dados quantitativos reais conforme ilustra a Figura 1.



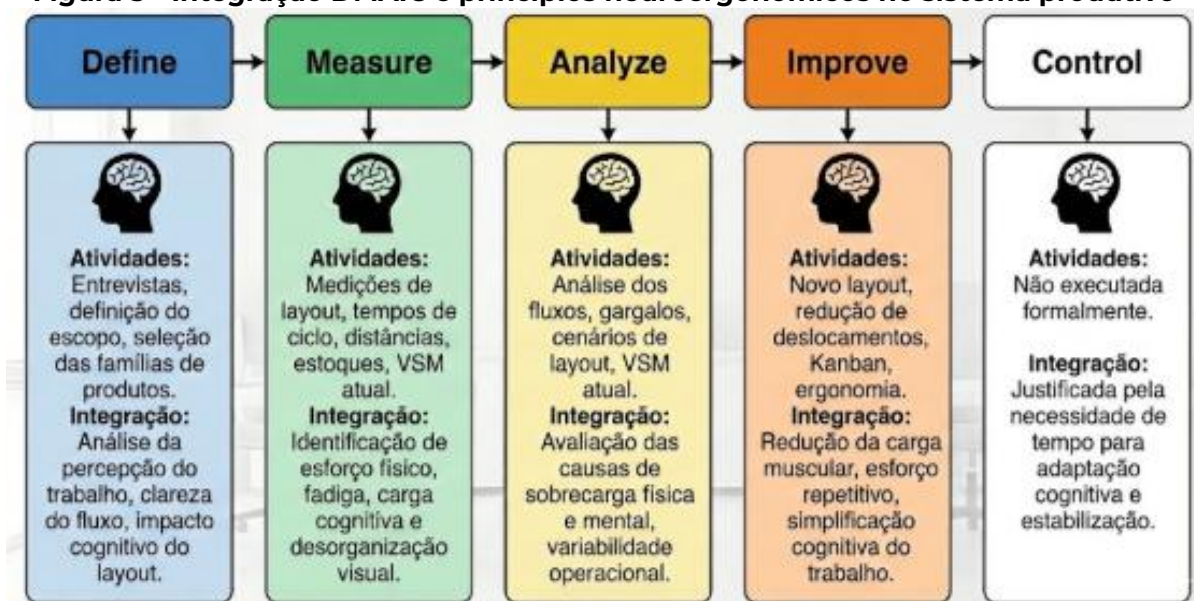
Fonte: Elaborado pelos Autores (2026)

Na fase **Definir**, delimita-se o escopo do problema identificando necessidades críticas para a qualidade, ou seja, o que precisa mudar. Na fase **Medir**, estabelece-se uma linha de base para o desempenho atual, por meio do mapeamento sistemático de dados. Na fase **Analisar**, os dados são interpretados com o objetivo de identificar a causa-raiz das variações e desperdícios. A fase **Melhorar** concentra-se na geração criativa e na implementação de soluções eficazes (George, 2002). Já o leiaute (Figura 2) e sua organização espacial são determinantes para o fluxo.

responsável pela percepção de bem-estar laboral (Wickens; Hollands, 2015; Dehais *et al.*, 2020; Ren *et al.*, 2023).

Dehais *et al.* (2020) mencionam que uma das contribuições ao se integrar a metodologia DMAIC com a neuroergonomia para a indústria está no mapeamento da sobrecarga físico-mental que impacta diretamente produtividade e segurança, partindo do princípio de que quando não se excede o limite da carga cerebral, é possível minimizar falhas cognitivas e aumentar a percepção de qualidade de vida no trabalho conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Integração DMAIC e princípios neuroergonômicos no sistema produtivo



Fonte: Elaborado pelos Autores (2026).

Introduzida por Parasuraman (2003), a neuroergonomia é a extensão natural da neurociência focada no desempenho físico-mental humano em um ambiente de trabalho, pois, enquanto a ergonomia tradicional concentra-se em aspectos biomecânicos e antropométricos, a neuroergonomia expande o escopo para incluir atenção, memória de trabalho e estados emocionais em relação à carga mental.

A integração tem benefícios como a eliminação de movimentações desnecessárias ao se criar e projetar leiautes enxutos e fluxos sem barreiras, melhoria neuroergonômica combinando menor esforço biomecânico e sem riscos de fadiga mental ou estresse (Parasuraman, 2003).

1.3 DIAGRAMA DE ESPAGUETE

O diagrama de espaguete possibilita mensurar distâncias percorridas, tempos de deslocamento, frequência de caminhadas e potenciais riscos ergonômicos associados à movimentação física do operador.

Quando combinado com cronometragem e análise ergonômica, revela pontos críticos que impactam diretamente a produtividade e o bem-estar dos trabalhadores (Imai, 1997), integrando-os à neuroergonomia ao examinar e analisar a carga mental (Xu *et al.*, 2020; Battini *et al.*, 2014).

Segundo Imai (1997), o diagrama de espaguete é um recurso da manufatura enxuta para mapear o desperdício por meio do deslocamento de operadores, materiais ou equipamentos dentro de um ambiente produtivo (Mather, 1973).

A representação gráfica mostra linhas com cores distintas, entrelaçadas, semelhantes aos fios de espaguete, de onde vem seu nome, conforme Figura 4.

Figura 4 - Uso do Diagrama de Espaguete na definição de melhor leiaute e fluxo fabril



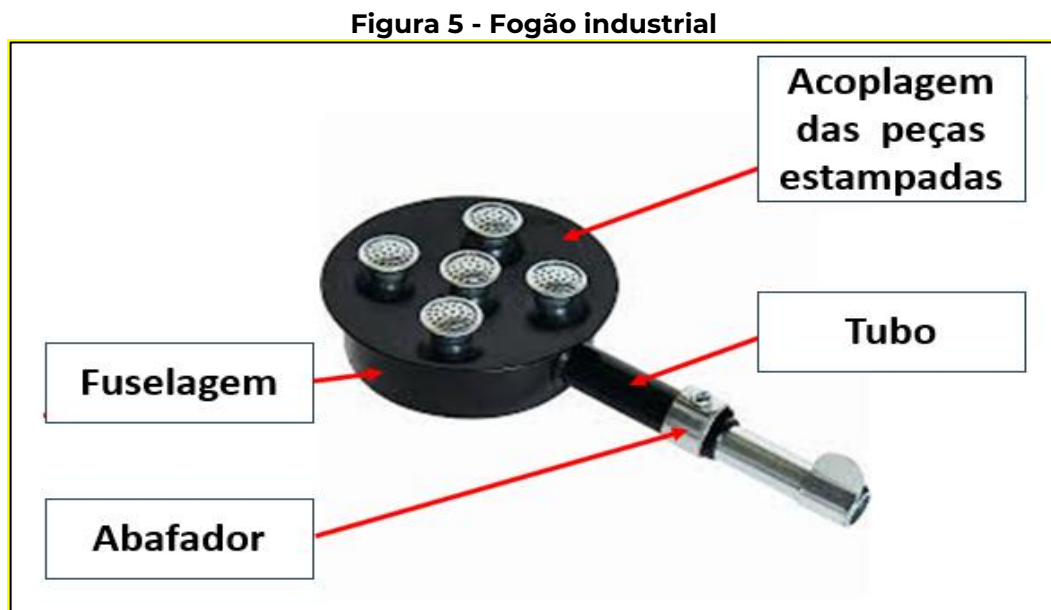
Fonte: Elaborado pelos Autores (2026).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza qualitativa e quantitativa, desenvolvido em uma empresa real do setor metalomecânico fabricante de equipamentos para cozinha industrial. A investigação teve como objetivo analisar e melhorar o arranjo físico produtivo por meio da aplicação integrada da metodologia DMAIC e dos princípios da neuroergonomia. Para isso, foram mapeados os processos produtivos e avaliados os impactos das intervenções realizadas no sistema de produção (Miguel *et al.*, 2018).

O processo analisado envolveu 10 trabalhadores diretamente relacionados às atividades de fabricação e montagem do produto, distribuídos em etapas produtivas de estampagem, montagem, acabamento, testes e estocagem.

O equipamento estudado foi o fogão industrial, conforme ilustra a Figura 5.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2026)

A metodologia **DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar)** foi adotada como estrutura central da pesquisa. Essa abordagem permitiu estruturar o processo de diagnóstico, análise e implementação das melhorias relacionadas ao leiaute produtivo e à movimentação de pessoas e materiais ao longo do processo de fabricação. O estudo foi conduzido durante um período total de doze meses, contemplando todas as fases da metodologia.

Inicialmente foi realizado o mapeamento completo do leiaute produtivo existente, com o objetivo de identificar os fluxos de movimentação de operadores, materiais e equipamentos no ambiente fabril. Após o desenho do arranjo físico e posicionamento de todos os equipamentos no layout da fábrica, foram identificados os percursos realizados durante as atividades produtivas.

Para a mensuração das distâncias percorridas, utilizou-se um instrumento manual de medição composto por uma roda de deslocamento com indicador analógico de distância em metros, amplamente utilizado em medições de trajetos no ambiente industrial. Esse equipamento permitiu registrar de forma direta e precisa os deslocamentos executados pelos operadores durante a execução das atividades.

As medições foram efetuadas em dois momentos distintos da pesquisa. Inicialmente, foi conduzida uma medição completa dos percursos existentes antes da realização das alterações no leiaute produtivo, permitindo estabelecer uma linha de base do desempenho operacional. Posteriormente, após a implementação das melhorias no arranjo físico e reorganização das estações de trabalho, foi efetuada uma nova medição dos percursos, possibilitando a comparação entre os cenários anterior e posterior às intervenções.

Para a cronometragem das atividades, foram realizadas 20 tomadas de tempo sequenciais para cada operação analisada, com o objetivo de capturar variações naturais do processo produtivo. Para aumentar a confiabilidade estatística das medições, foram eliminados os três menores tempos registrados, procedimento utilizado para reduzir possíveis distorções decorrentes de situações atípicas. Em seguida, foi calculada a média aritmética dos 17 tempos restantes, que foi adotada como valor representativo do tempo de execução das atividades.

Os dados referentes aos tempos de execução das operações e às distâncias percorridas foram registrados em pranchetas e, posteriormente, digitalizados em computador, permitindo a organização e comparação sistemática das informações obtidas antes e após a implementação das melhorias.

A sequência metodológica adotada na pesquisa foi composta pelas seguintes etapas:

1. Aplicação da metodologia DMAIC como estrutura de melhoria do processo produtivo;
2. Mapeamento do leiaute produtivo e elaboração do diagrama de espaguete para identificação das movimentações de operadores, veículos industriais e materiais;
3. Registro e análise dos tempos de execução das atividades e das distâncias percorridas pelos operadores;
4. Implementação das melhorias relacionadas ao rearranjo do leiaute produtivo e reorganização das estações de trabalho;
5. Realização de novas medições de tempo e deslocamento após as melhorias, permitindo a comparação dos resultados obtidos.

A fase controlar, última etapa da metodologia DMAIC, foi conduzida após a implantação das melhorias, por meio do monitoramento sistemático dos indicadores de desempenho durante um período de três meses consecutivos. Esse acompanhamento teve como objetivo verificar a estabilidade das melhorias implementadas, assegurar a manutenção dos ganhos obtidos e consolidar as mudanças no sistema produtivo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 COMPARATIVO ANTES E APÓS EM RELAÇÃO À MOVIMENTAÇÃO EM METROS

Os resultados obtidos na empresa fabricante de equipamentos para cozinha industrial evidenciaram ganhos significativos, com a redução de até 47,2 metros na movimentação de pessoas e materiais, além do aumento de 23% na produção do fogão industrial.

A Tabela 1 mostra as medições antes e após a implementação das melhorias.

Tabela 1 - Comparativo de um dos fluxos antes e após as melhorias

Sequência de montagem de um fogão	Atividade fabril nas áreas de estampagem, pintura, acabar, examinar e estocagem	Distância percorrida em metros lineares (m)		Ganhos com o rearranjo do leiaute e melhoria adotada
		Antes	Após	
1	Estampar as peças do fogão	40,6	19,1	Reduzido 21,5 m
2	Montar fuselagem e tubo	37,6	11,9	Reduzido 25,7 m
3	Acoplar conjuntos e pintar	57,9	57,9	Sem alteração
4	Acabamento e abafadores	29,7	29,7	Sem alteração
5	Testar e enviar para estoque	23,1	23,1	Sem alteração
Distância total (m) para montagem de 1 fogão		188,9	141,7	Reduzido 47,2 m

Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

Após o detalhamento das operações e mensuração dos tempos de ciclo, identificaram-se atividades com elevado esforço físico e tempos improdutivos. Foram implementadas, nas estações de trabalho, parafusadeiras e arrebiteadeiras pneumáticas suspensas em balancins, o que resultou na redução de esforços, além de promover maior percepção de organização e qualidade de vida no trabalho por parte dos montadores, conforme ilustra a Figura 6.

Figura 6 - Arrebiteadeira e parafusadeiras pneumáticas suspensas por balancins



Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração entre a metodologia DMAIC e os princípios da neuroergonomia constitui uma abordagem eficaz para a melhoria de sistemas produtivos, promovendo ganhos simultâneos em eficiência operacional, produtividade e condições de trabalho.

O objetivo geral da pesquisa foi plenamente atingido, com a implementação e consolidação de melhorias significativas no leiaute produtivo, fluxo de fabricação e gerenciamento de estoques abrangendo integralmente as cinco fases do ciclo DMAIC.

Esta pesquisa evidenciou que os sistemas produtivos mais eficientes são aqueles devidamente alinhados às capacidades e limitações humanas, posicionando o fator humano como elemento central da estratégia industrial.

Os resultados quantitativos obtidos na indústria fabricante de equipamentos de cozinha industrial validam o sucesso da intervenção, apresentando uma redução de até 59% nos deslocamentos operacionais, o que representa uma economia de 47,2 metros lineares na montagem de cada unidade de fogão industrial.

O rearranjo do leiaute e a melhoria no fluxo possibilitaram um aumento de 23% na produtividade global do setor, com a adoção de parafusadeiras e arrebiteadeiras pneumáticas suspensas por balancins, que minimizaram o esforço físico e aumentaram a percepção de organização e de qualidade de vida laboral por parte dos montadores.

Conclui-se que as contribuições deste estudo são relevantes sob três perspectivas distintas: ao demonstrar a viabilidade da integração entre DMAIC e neuroergonomia em um contexto industrial real, com acompanhamento de longo prazo, ao propor uma abordagem estruturada que inclui uma fase de controle robusta; e ao oferecer um modelo de gestão eficaz e replicável para outras pequenas e médias empresas do setor metalomecânico.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se o aprofundamento das avaliações neuroergonômicas por meio do uso de equipamentos portáteis de monitoramento, possibilitando a mensuração direta da carga cognitiva durante a expansão do sistema, o que permitirá um refinamento ainda maior na *interface* humano-máquina e na neuroergonomia dos postos de trabalho.

REFERÊNCIAS

- BATTINI, D. et al. Ergonomics in assembly line balancing. **International Journal of Industrial Ergonomics**, [s. l.], v. 44, n. 3, p. 342-349, 2014.
- BENEVIDES, K. D. G. et al. Neuroengenharia: uma pesquisa sobre Inteligência Artificial entre humano e máquina. **Revista Ciências Exatas**, Taubaté, v. 31, n. 2, 2025. Disponível em: <https://periodicos.unitau.br/exatas/article/view/4017>. Acesso em: 12 mar. 2026.
- DE MOURA, R. A. et al. Neuroergonomia no controle de voo com tecnologia embarcada fly-by-wire e artificial feel para um melhor feedback háptico. **ARACÊ**, [S. l.], v. 7, n. 9, p. e8071, 2025. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/8071>. Acesso em: 12 mar. 2026.
- DEHAIS, F. et al. Monitoring pilot's mental workload using ERPs and spectral power analysis during a simulated landing. **International Journal of Psychophysiology**, [s. l.], v. 147, p. 83-91, 2020.
- DUL, J.; WEERDMEESTER, B. **Ergonomia prática**. São Paulo: Blucher, 2008.
- FERNANDES, W. S. et al. Neuroergonomia sustentável: minimizando erros e maximizando eficiência. **ARACÊ**, [S. l.], v. 7, n. 10, p. e8749, 2025. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/8749>. Acesso em: 12 mar. 2026.
- GEORGE, M. L. **Lean Six Sigma**: combining Six Sigma quality with Lean production speed. New York: McGraw-Hill, 2002.
- GOULART, R. A. S. et al. Comparativo de treinamentos imersivos com realidade aumentada e virtual aplicadas em ambientes para eliminar riscos ocupacionais. **Revista Ciências Exatas**, Taubaté, v. 30, n. 2, 2024. Disponível em: <https://periodicos.unitau.br/exatas/article/view/3913>. Acesso em: 12 mar. 2026.
- IMAI, M. **Gemba Kaizen**: a common sense, low-cost approach to management. New York: McGraw-Hill, 1997.
- MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2018.
- MOURA, R. A. et al. Logística Humanitária: tecnologias digitais de comunicação. **LAJBM**, [S. l.], v. 15, n. 1, 2024. Disponível em: <https://www.lajbm.com.br/journal/article/view/775>. Acesso em: 12 mar. 2026.
- MUTHER, R. **Systematic layout planning**. Boston: Cahnners Books, 1973.
- OLIVEIRA JUNIOR, H. S.; VIAGI, A. F.; MOURA, R. A. Aplicações dos conceitos da neuroengenharia no monitoramento. **Revista Ciências Exatas**, Taubaté, v. 31, n. 2, 2025. Disponível em: <https://periodicos.unitau.br/exatas/article/view/4033>. Acesso em: 12 mar. 2026.

OLIVEIRA, M. R. et al. Direito Digital e sua limitação no uso da inteligência artificial.

CLCS: Cuadernos de Educación y Desarrollo, [s. l.], v. 18, n. 7, p. e19679, 2025.

Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/19679>.

Acesso em: 12 mar. 2026.

PARASURAMAN, R. Neuroergonomics: Research and practice. **Theoretical Issues in Ergonomics Science**, [s. l.], v. 4, n. 1-2, p. 5-20, 2003.

PYZDEK, T.; KELLER, P. **The Six Sigma handbook**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2018.

REN, Y. et al. EEG-based cognitive load assessment in assembly tasks. **Applied Ergonomics**, [s. l.], v. 110, 103978, 2023.

REQUIES, J. et al. Evolution of project-based learning in small groups in environmental engineering courses. **Journal of Technology and Science Education**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 45-62, 2018.

ROTH, M.; SHOOK, J. **Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda**. Cambridge: Lean Enterprise Institute, 2003.

SENAI. **Panorama da indústria metalomecânica brasileira**. Brasília: SENAI, 2021.

SILVA, E. A. et al. Neuroergonomía y Tecnologías inmersivas. **Revista Ciências Exatas**,

Taubaté, v. 30, n. 2, 2024. Disponível em: [https://doi.org/10.69609/1516-](https://doi.org/10.69609/1516-2893.2024.v30.n2.a3916)

2893.2024.v30.n2.a3916. Acesso em: 12 mar. 2026.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2018.

SOUZA, F. S. **Avaliação neuroergonômica da carga mental de trabalho**. 2018. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

STEVENS, G. **Neuroengineering**. Boca Raton: CRC Press, 2008.

WICKENS, C. D.; HOLLANDS, J. G. **Engineering psychology and human performance**. 4. ed. New York: Psychology Press, 2015.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation**. New York: Simon & Schuster, 2004.

XU, W. et al. Digital twin-driven human-robot collaboration. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, [s. l.], v. 61, 101832, 2020.