

AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM DE UM SUBCOMPONENTE DO CHASSI TUBULAR DE MOTOCICLETAS EM UMA EMPRESA DO PÓLO INDUSTRIAL DE MANAUS

AUTOMATION OF WELDING PROCESSES OF A SUBCOMPONENT OF THE TUBULAR MOTORCYCLE CHASSIS IN A COMPANY FROM THE MANAUS INDUSTRIAL HUB

Allan Bezerra Areque*  E-mail: allan.areque@gmail.com
Nicolas Abreu Gemaque Guimarães*  E-mail: nicolasabreuquimaraes@gmail.com
Jordânia Louse Silva Alves*  E-mail: jordania@ufam.edu.br
Marcelo Albuquerque de Oliveira*  E-mail: marcelooliveira@ufam.edu.br

*Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, AM, Brasil.

Resumo: Um dos requisitos fundamentais para a garantia da sustentabilidade e sobrevivência de uma empresa é contar com um planejamento de produção que estabeleçam processos enxutos, dinâmicos a mudanças e que tenham eficiência para garantir a produtividade, qualidade e retorno financeiros das operações industriais. Neste sentido a automação de processos são atividades indispensáveis no plano estratégico de uma empresa pois promoverá sua competitividade frente aos concorrentes baseada em novas tecnologias da indústria 4.0. Com isso, este trabalho descreve a elaboração e implantação da automação de processos de soldagem automatizados na soldagem de chassis para motocicletas em uma empresa de duas rodas, localizada no Polo Industrial da cidade de Manaus. A implantação dos processos automáticos da linha estudada ocorreu em etapas onde a primeira foi executada nos processos de produção do subcomponente traseiro do chassi, objeto deste estudo. A escolha desta primeira etapa deveu-se a dificuldade no atendimento do plano diário de produção que encontrava-se 12% abaixo do necessário para a linha principal. Considerou-se o levantamento dos indicadores com o foco nos dados de plano de produção, tempos de processo e números de colaboradores, além do estudo de tempos e métodos na validação da proposta para automação por meio de simulação computacional. O resultado obtido para a proposta de automação do subcomponente, visou otimizar a produção deste item em 20% a mais da demanda atual, elevando assim a capacidade de atendimento da produção de 960 para 1152 unidades diárias para a linha principal, exigindo menos recursos de mão-de-obra e demonstrando a importância estratégica das ferramentas de cronoanálise e simulação na definição de processos.

Palavras-chave: Automação. Simulação. Tempos e métodos.

Abstract: One of the fundamental requirements to ensure the sustainability and survival of a company is to have a production planning system that establishes lean processes, is adaptable to change, and efficient enough to guarantee productivity, quality, and financial returns from industrial operations. In this regard, process automation becomes an essential activity within a company's strategic plan, as it promotes competitiveness based on new Industry 4.0 technologies. Accordingly, this study describes the development and implementation of automated welding processes for motorcycle chassis in a two-wheeler manufacturing company located in the Industrial Hub of Manaus, Brazil. The implementation of automation in the production line was carried out in phases, with the first phase focused on the production of the rear subcomponent of the chassis, which is the object of this study. This initial stage was chosen due to difficulties in meeting the daily production plan, which was operating 12% below

what was required capacity for the main line. The study considered the collection of key performance indicators focusing on production plan data, process times, and workforce numbers, as well as time and motion studies to validate the automation proposal through computer simulation. The results of the proposed automation aimed to optimize the production of this subcomponent by 20% above the current demand, increasing the production capacity from 960 to 1,152 units per day for the main line, while requiring fewer labor resources and highlighting the strategic importance of time analysis and simulation tools in process definition.

Keywords: Automation. Simulation. Time and Motion Study.

1 INTRODUÇÃO

A constante competitividade no setor industrial, especialmente no ramo automobilístico, alavancou investimentos e iniciativas voltadas à otimização de processos por meio de tecnologias de automação. O contexto da Indústria 4.0 exige investimentos com retorno esperado em produtividade, qualidade e eficiência operacional (MARTINS; LAUGENI, 2015).

Células robotizadas de soldagem são amplamente utilizadas na automação de componentes metálicos. Na indústria automobilística estas estações de trabalho diferenciam-se quanto ao tipo de soldagem realizadas, sendo mais comumente usadas para: soldagem MIG (Metal Inerte Gás) e MAG (Metal Ativo Gás), MIG/MAG, e a soldagem por resistência. A primeira refere-se à aplicação de um cordão de solda, através da fusão de um arame de metal, para a união de duas peças metálicas e o segundo tipo, refere-se ao aquecimento pontual de duas chapas, por isso também chamada de solda ponto, onde ocorrerá a fusão do metal no local de aquecimento conferindo a fixação permanente das peças (Costa, 2019).

A soldagem MIG/MAG é caracterizada pela geração de um arco elétrico, controlado por um equipamento inversor, que funde um arame metálico conduzido até uma ponteira conhecida como tocha. Esse arame fundido forma o chamado cordão de solda, o qual deve ser depositado seguindo uma trajetória específica. A proteção gasosa evita contaminação da deposição do metal fundido e assegura a qualidade da união. (Costa, 2019).

Na indústria, as células de soldagem ou também chamadas de estações de trabalho, são em sua maioria, operadas por meio de atividades altamente padronizadas, o que assegura a repetibilidade e a qualidade das peças produzidas.

Por esse motivo, esses ambientes são especialmente adequados para estudos de cronoanálise. Logo, o Estudo de Tempos e Métodos consiste na análise minuciosa das operações, permitindo identificar gargalos produtivos, perdas por setups e ineficiências, além de possibilitar o balanceamento de linha e a mensuração da capacidade de produção (Sotsek; Vivan; de Oliveira, 2022).

Nos últimos anos, as simulações de produção tornaram-se ferramentas fundamentais nas estratégias de mudança organizacional, pois o gerenciamento de sistemas produtivos depende, em grande parte, da capacidade de previsão. Os resultados gerados exigem comparações sistemáticas entre diferentes cenários de curto e longo prazo, permitindo a formulação de alternativas para apoiar a tomada de decisão. Desta forma, a simulação torna possível testar opções de produção, diagnosticar problemas e propor melhorias sem afetar diretamente a produção, evitando custos com protótipos físicos, alterações em layouts e aquisição de equipamentos desnecessários, além de possibilita a representação quantitativa de modelos produtivos com maior segurança e eficiência (Silva *et al.*, 2024).

O objetivo deste artigo é descrever os processos de análise, concepção e validação da substituição da soldagem manual MIG/MAG por uma estação de trabalho automatizada em uma linha de produção de chassis. A alteração será aplicada a uma seção específica da linha principal, responsável pela fabricação de um dos três subconjuntos que compõem o chassi da motocicleta. Ressalta-se que esta mudança faz parte da primeira etapa de um plano estratégico da empresa, voltado à melhoria contínua dos processos por meio de tecnologias de automação. O estudo contempla apenas uma das linhas de soldagem de chassis, considerando que outras linhas dedicadas a diferentes modelos, já passaram por processos semelhantes de modernização e serviram como referência técnica para a elaboração deste projeto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O mercado de duas rodas no Brasil

O mercado brasileiro de duas rodas, especialmente o de motocicletas, apresentou crescimento nos últimos anos, impulsionado principalmente pelas restrições impostas durante a pandemia de COVID-19. Nesse período, houve grande expansão dos serviços de entrega e das plataformas de *marketplaces*, cenário que expandiu a mobilidade ágil e favoreceu o uso de motocicletas em operações logísticas urbanas (Silva; Lima; Alves, 2024).

Esse crescimento pode ser observado nos dados de emplacamento divulgados pela Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas (...) que indicam aumento significativo da produção e comercialização nos últimos anos. Em 2022, foram registradas 1.581.527 motocicletas, número que saltou para 1.875.903 em 2023, representando um aumento de 19%, tendência que permanece nas projeções recentes do setor (ABRACICLO, 2025). Além disso, fatores como maior concessão de crédito, aumento do desemprego mantêm a expansão do mercado de motocicletas.

2.2 Sistemas de produção e o Arranjo físico

Os sistemas de produção consistem em processos planejados e organizados para transformar insumos em produtos ou serviços. Eles podem ser classificados em cinco tipos principais: produção contínua, intermitente, por projeto, em massa e sob encomenda, definidos com base na demanda e na natureza do produto (Slack; Brandon-Jones; Johnston, 2015). A produção contínua é marcada por um fluxo uniforme, alta padronização, baixa variabilidade e elevado nível de automação. Já a produção intermitente opera com maior flexibilidade, fabricando diferentes produtos em lotes, o que permite *setups*. A produção por projeto aplica-se a bens complexos e customizados, como navios ou submarinos, com processos altamente específicos e únicos. A produção em massa, por sua vez, caracteriza-se por altos volumes, padronização de processos e economia de escala. Por fim, a produção sob

encomenda atende demandas específicas dos clientes, permitindo maior personalização tanto de produtos quanto de serviços (Slack; Brandon-Jones; Johnston, 2015).

Segundo Moreira (2017), o arranjo físico é a forma como os recursos produtivos são distribuídos em um setor de produção, de modo a otimizar o fluxo de materiais, reduzir desperdícios e facilitar as operações. Pode-se destacar três configurações clássicas de arranjo: o arranjo por produto, no qual os recursos são organizados conforme a sequência das operações; o arranjo por processo, caracterizado pelo agrupamento de equipamentos e máquinas de funções iguais; e o arranjo posicional, em que os recursos se deslocam até o local de montagem do produto, típico de grandes estruturas como navios, aeronaves e construções de grande porte.

2.3 Solda MIG/MAG

O processo de soldagem MIG/MAG, MIG (Metal Inerte Gás) e MAG (Metal Ativo Gás), baseia-se na fusão de metais para promover a união entre peças metálicas, sendo possível realizar a operação com ou sem adição de material metálico. Quando há adição, utiliza-se um arame consumível, cuja fusão ocorre por meio de um arco elétrico protegido por gás (Modenesi; Costa, 2017). A diferença entre MIG e MAG está relacionada ao tipo de gás de proteção utilizado, o que influencia a estabilidade do arco elétrico e a penetração da solda durante a soldagem (Costa, 2019).

2.4 Tempos e métodos

O estudo de tempos e métodos é uma ferramenta importante e já consolidada na engenharia de produção para análises e otimização de processos na indústria e serviços, com aplicações recentes que demonstram sua contínua relevância (Panaggio, 2024). Nesta pesquisa, essa abordagem foi fundamental para diagnosticar a capacidade produtiva da linha de soldagem, identificar gargalos e mensurar os tempos de cada operação da linha de soldagem.

A metodologia seguiu os preceitos da administração científica, utilizando a cronoanálise para estabelecer o Tempo Padrão (TP) de cada posto.

A análise decompõe operações em elementos homogêneos, permitindo calcular tempo médio, normal e padrão ajustados por ritmo e tolerâncias. A cronometragem desses elementos fornece dados para o cálculo do tempo médio, normal e padrão, ajustados por fatores de ritmo e tolerância calculados com base em valores tabelados segundo os estudos já estabelecidos em Tempos e Métodos. Esses fatores permitem compensar variações fisiológicas e condições de trabalho, aproximando o tempo calculado da realidade operacional (Corrêa, 2023)

Tempos de espera indicam ociosidade de operadores ou máquinas, impactando a eficiência da linha e podendo caracterizar gargalos. A distribuição dos tempos de processo do operador, bem como o da máquina podem ser evidenciados por ferramentas como o diagrama homem-máquina. Este diagrama apresenta, de forma visual, a sobreposição entre o trabalho humano e o funcionamento dos equipamentos, permitindo detectar os gargalos e oportunidades de melhoria (Freire; Longhini, 2022).

Outro desdobramento prático dos estudos de tempos e métodos é a estimativa da necessidade de equipamentos, essencial para balancear linhas de produção e definir layouts industriais. O cálculo baseia-se no tempo padrão de operação, no tempo disponível para produção e na demanda estabelecida, possibilitando dimensionar o número ideal de máquinas ou postos de trabalho para atender às metas de produção de uma linha com eficiência (Martins; Laugeni, 2023).

2.5 Análise estatística de amostras

A escolha adequada de uma distribuição estatística influencia diretamente a confiabilidade dos dados utilizados na definição do tempo padrão de processos (Komninakis; Piratelli; Achcar, 2018). Em diversos estudos recentes, observou-se que, em processos manuais com alta repetibilidade de movimentos, os dados tendem a aproximar-se de uma distribuição normal, desde que a amostra seja suficientemente grande e o processo estabilizado. Por isso, um dos testes mais recomendados para

verificar a normalidade dos dados é o teste de Shapiro-Wilk, reconhecido por sua boa sensibilidade e capacidade de detectar desvios em amostras pequenas a médias (Gosselin, 2024; Hatem *et al.*, 2022). Esse teste compara a ordenação dos dados amostrais com a distribuição teórica esperada sob a hipótese de normalidade, gerando uma medida do grau de aderência entre eles.

2.6 Simulação computacional

Softwares de simulação de produção, como o FlexSim, constituem ferramentas de grande relevância para a análise e otimização de sistemas produtivos, permitindo a criação de modelos virtuais capazes de representar fluxos de produtos, movimentação de operadores e processos manuais (Lewicki *et al.*, 2024). Tais recursos possibilitam testar diferentes cenários produtivos e definir estratégias operacionais sem a necessidade de intervenções diretas na linha real de produção.

Estudos recentes indicam que o uso de ferramentas computacionais de simulação, como o FlexSim, tem se expandido não apenas na indústria de manufatura, mas também em setores como logística e saúde (Silva *et al.*, 2024).

3 METODOLOGIA

Foi conduzido um estudo de caso em um projeto de automação voltado para os processos de soldagem manual do subcomponente traseiro de chassis tipo tubular, em uma empresa localizada na Zona Franca de Manaus, Estado do Amazonas, fabricante de motocicletas.

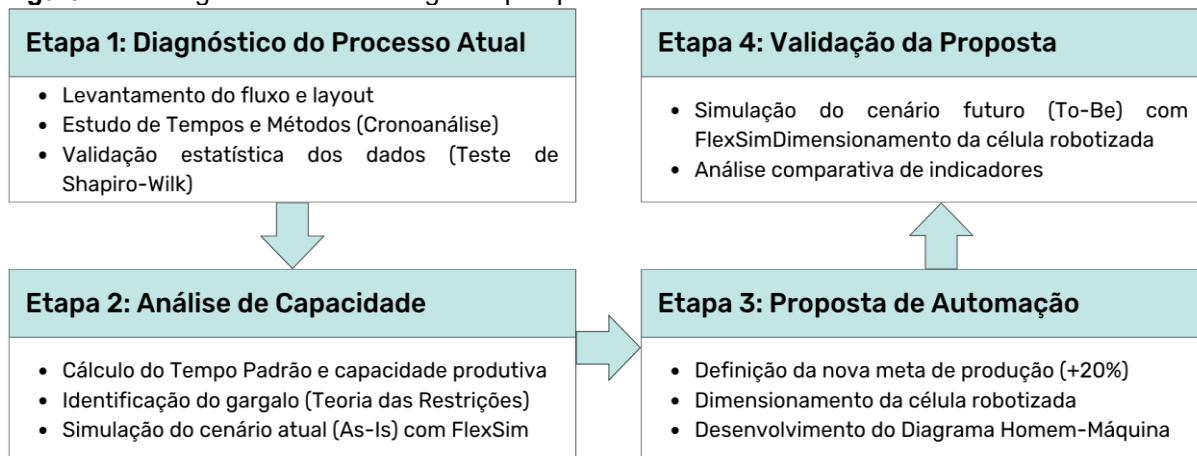
Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, com abordagem quali-quantitativa, estruturada como estudo de caso com elementos de pesquisa-ação, pois analisa um problema real na linha de produção e define as alterações a serem realizadas no sistema produtivo. O trabalho também utiliza os recursos de simulação computacional como ferramenta de apoio à tomada de decisão. Essa classificação metodológica está alinhada à classificação metodológica proposta por Cauchick Miguel (2018) para pesquisas na área de Engenharia de Produção.

O levantamento de dados da produção como cronometragem e análise dos processos foram realizados entre os meses de agosto e outubro de 2022, período em que foram coletadas informações diretamente na linha de soldagem manual do subcomponente traseiro do chassi. Para a simulação computacional, adotou-se como horizonte de implementação do projeto de análise a demanda prevista para o ano de 2023, considerando também a projeção de crescimento de 20% estabelecida no plano estratégico da empresa para os dois anos subsequentes.

Estudos recentes mostram que pesquisas aplicadas em Engenharia de Produção têm adotado metodologias de natureza combinada, integrando abordagens qualitativas e quantitativas para permitir uma análise mais completa e precisa dos fenômenos estudados (Carvalho; Souza, 2023). No trabalho realizado, essa combinação também se faz presente: o levantamento de tempos, medições e indicadores numéricos caracterizou a dimensão quantitativa, enquanto que a descrição das operações, dos postos de trabalho e das interações produtivas reflete a perspectiva qualitativa.

A Figura 1 resume a metodologia aplicada para o desenvolvimento dos estudos de melhoria do processo com uso da automação industrial.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia da pesquisa

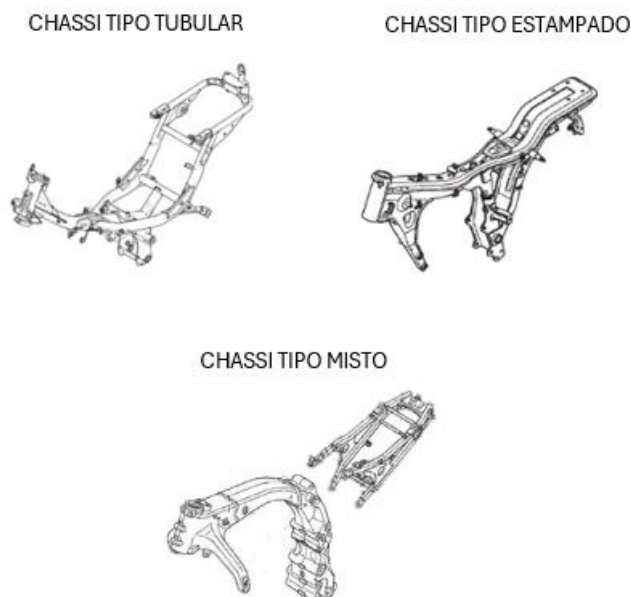


Fonte: Elaborado pelos autores.

O objeto de estudo compreende os processos de soldagem de um dos três subcomponentes que compõem o chassi de um determinado modelo de motocicleta.

Os chassis podem variar conforme o formato, a cilindrada e a aplicação da motocicleta, mas podem ser classificados em três tipos básicos, conforme ilustrado na Figura 2:

Figura 2 - Tipos básicos de chassis de motocicletas comerciais

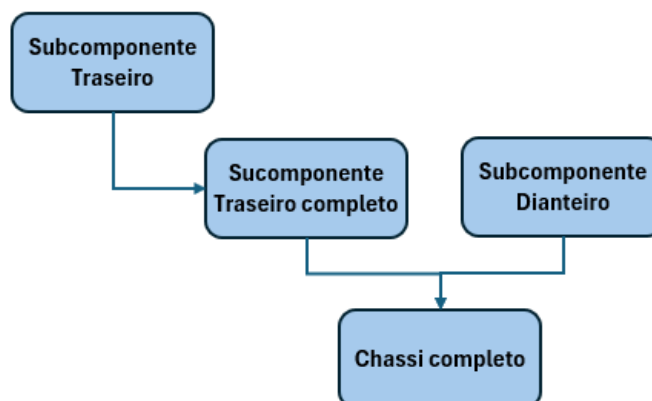


Fonte: Elaborado pelos autores.

- Chassis tubulares, possuem a estrutura principal formada pela união de tubos metálicos de dimensões, formatos e espessuras variados;
- Chassis estampados, possuem o formato principal constituído pela união de chapas metálicas estampadas em formas e dimensões variados;
- Chassis do tipo misto, podem ter sua estrutura variada pela união de subconjuntos tubulares com subconjuntos estampados ou estruturas de diferentes materiais como o alumínio.

Os chassis do tipo tubular, em geral, são formados pela união de três subconjuntos, são eles: subconjunto traseiro, subconjunto traseiro completo e subconjunto dianteiro, conforme explicado na Figura 3.

Figura 3 - Estrutura básicas de componentes de um chassi, produto do estudo de caso



Fonte: Elaborado pelos autores.

Este estudo trata da substituição de três processos de soldagem manual por uma célula robotizada, capaz de manter e aprimorar a produtividade da linha. A melhoria representa o primeiro passo do planejamento de modernização da empresa e servirá como modelo para as fases seguintes. O trabalho descreve as etapas de análise e concepção dessa automação.

Inicialmente, confirmou-se os dados produtivos da linha na condição atual por meio da coleta dos tempos de ciclo dos postos a serem modernizados, análise estatística desses valores, capacidade produtiva, taxa de utilização, tempo padrão e demais informações de tempos e métodos.

Para a validação estatística, foi realizada a análise de normalidade das amostras por meio do teste de Shapiro-Wilk. Essa etapa foi conduzida utilizando a linguagem Python (versão 3.7), executada na plataforma Google Colab. Para isso, empregou-se a biblioteca `scipy.stats`, função `shapiro`, no qual permite verificar a aderência dos dados à distribuição normal. A visualização gráfica foi realizada com o uso do gráfico Q-Q (Quantile-Quantile Plot), que permite uma análise visual da conformidade dos dados com a distribuição teórica.

Em seguida, levantou-se o fluxo de processo atual e estudou-se a nova proposta de automação por meio de simulação no software FlexSim, visando viabilizar o conceito de processos automáticos de solda.

O modelo proposto considerou como premissas: aumento de 20% na capacidade diária da linha, passando de 960 para 1.152 unidades; redução da quantidade de postos; e execução integral dos 890 mm de cordões de solda exigidos pelo produto, sem gerar gargalos na linha principal.

4 ESTUDO DE CASO

Este estudo analisa o layout de uma fábrica de motocicletas localizada em Manaus/AM, que possui uma estrutura produtiva diversificada com diferentes processos de manufatura. O fluxo produtivo envolve estamparia, soldagem, pintura, montagem e inspeção final. Sua produção anual supera milhões de unidades, gerando uma produção diária que pode ultrapassar mil peças.

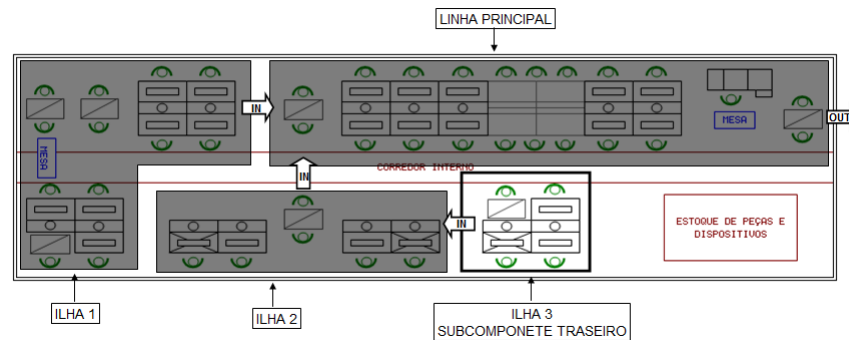
4.1 Sistema de produção e arranjo físico do objeto de estudo

A linha analisada opera sob um modelo de produção discreta, no qual o chassi é montado a partir de diversos componentes que podem ser classificados e quantificados. Esses elementos passam por uma sequência de operações padronizadas até se tornarem o produto acabado. O sistema apresenta características típicas de produção em massa, com alto volume e padronização das operações.

O layout analisado para a produção do subcomponente traseiro, foco deste estudo, segue o modelo de arranjo físico por produto o que significa que os processos estão organizados conforme a sequência lógica das operações (Moreira, 2017). Essa é a mesma característica da linha principal na qual o subcomponente está ligado pois todas as etapas seguem uma ordem fixa de montagem, sem espaço para variações ou adaptações no produto.

Na Figura 4 são mostradas as unidades responsáveis pela produção dos subcomponentes, conhecidas como “ilhas”. Cada uma delas envia suas peças para a linha principal, sendo identificadas como entradas (“In”) no *layout*. Essas ilhas funcionam como subsistemas organizados de forma linear, responsáveis por abastecer a linha principal.

Figura 4 - Layout da linha principal e subcomponentes



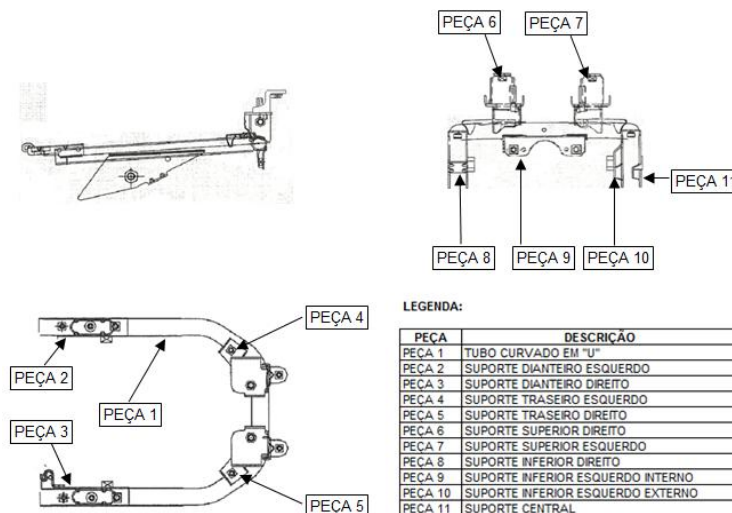
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Características do fluxo de produção

4.2.1 Especificação do subcomponente traseiro

O subcomponente traseiro do chassi é composto de onze peças, todas em aço estrutura com 0.23% máximo de teor de carbono (C), unidas através de processos de soldagem MIG/MAG, dispostas conforme demonstrado na Figura 5.

Figura 5 - Especificação de peças do subcomponente traseiro do chassi



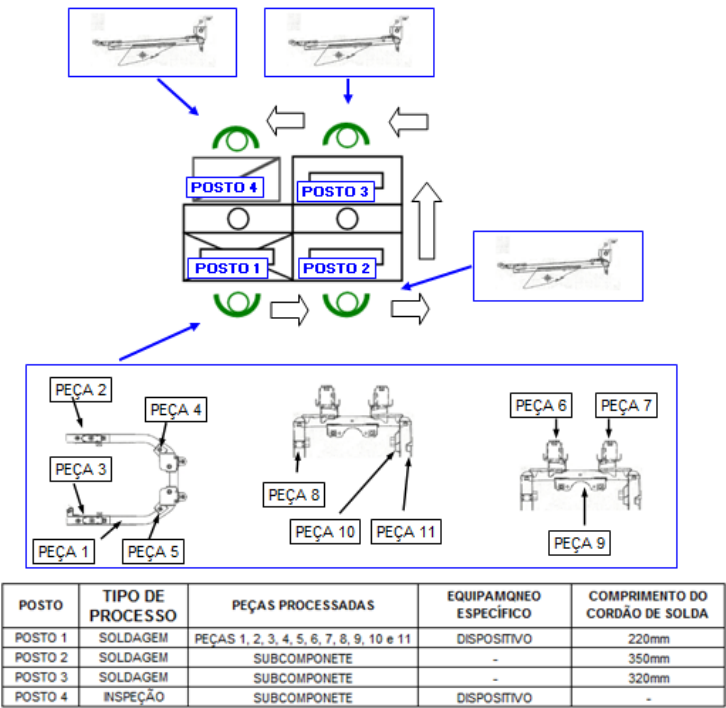
Fonte: Elaborado pelo autor.

O comprimento total dos cordões de solda define o balanceamento das operações por impactar diretamente o tempo de cada posto. O comprimento de solda é o que define o balanceamento das operações neste estudo pois é o fator que impacta diretamente no tempo de operação de cada posto de trabalho.

4.2.2 Fluxo de processos

A fabricação do subcomponente traseiro do chassi é organizada em quatro postos de trabalho. No primeiro, todas as peças dos subcomponentes são montadas com o auxílio de um dispositivo, onde são aplicados pequenos cordões de solda para fixação inicial. Os postos dois e três realizam a soldagem completa, seguindo as especificações do desenho técnico. Já o último posto é dedicado à inspeção visual, utilizando um dispositivo específico para identificar e corrigir falhas. O *layout* dessa linha não é linear, mas sim em formato de “U” para otimizar espaço em relação à linha principal e aos demais subcomponentes, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 - Layout do fluxo de produção



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3 Estudo de tempos e métodos

Para iniciar o estudo, foram realizadas dez medições de tempo em cada posto, com o objetivo de assegurar representatividade estatística das amostras utilizadas na análise. O tratamento dos dados seguiu as diretrizes metodológicas consolidadas na literatura de tempos e métodos, considerando nível de confiança de 95%, erro relativo de 5% e parâmetros usuais para definição do tamanho mínimo de amostra. A abordagem adotada está alinhada às recomendações presentes em estudos recentes sobre cronometragem e análise de tempos padrão aplicados a processos industriais (Corrêa, 2023). Com base nessas diretrizes, determinou-se o número adequado de ciclos necessários para cada posto de trabalho, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Cálculo de ciclos para validar a tomada de tempo dos postos

Tempo em números decimais de segundos				
Cronometragens	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4
1	53,07	57,2	52,87	33,13
2	55,31	55,75	54,97	31,07
3	53,54	58,05	51,7	32,05
4	56,37	58,03	53,72	32,14
5	54,1	55,25	56,77	34,62
6	53,31	55,41	54,51	34,99
7	56,77	54,3	56,46	31,78
8	57,84	58,06	52,49	33,16
9	57,05	55,67	55,88	31,32
10	55,41	56	51,45	33,51
Média ($\bar{x}$)	55,28	56,37	54,08	32,77
Desvio padrão (σ)	1,71	1,36	1,94	1,34
Amplitude (R)	4,77	3,76	5,32	3,92
n	1,21	0,72	1,57	2,32
n (arredondamento)	2	1	2	3

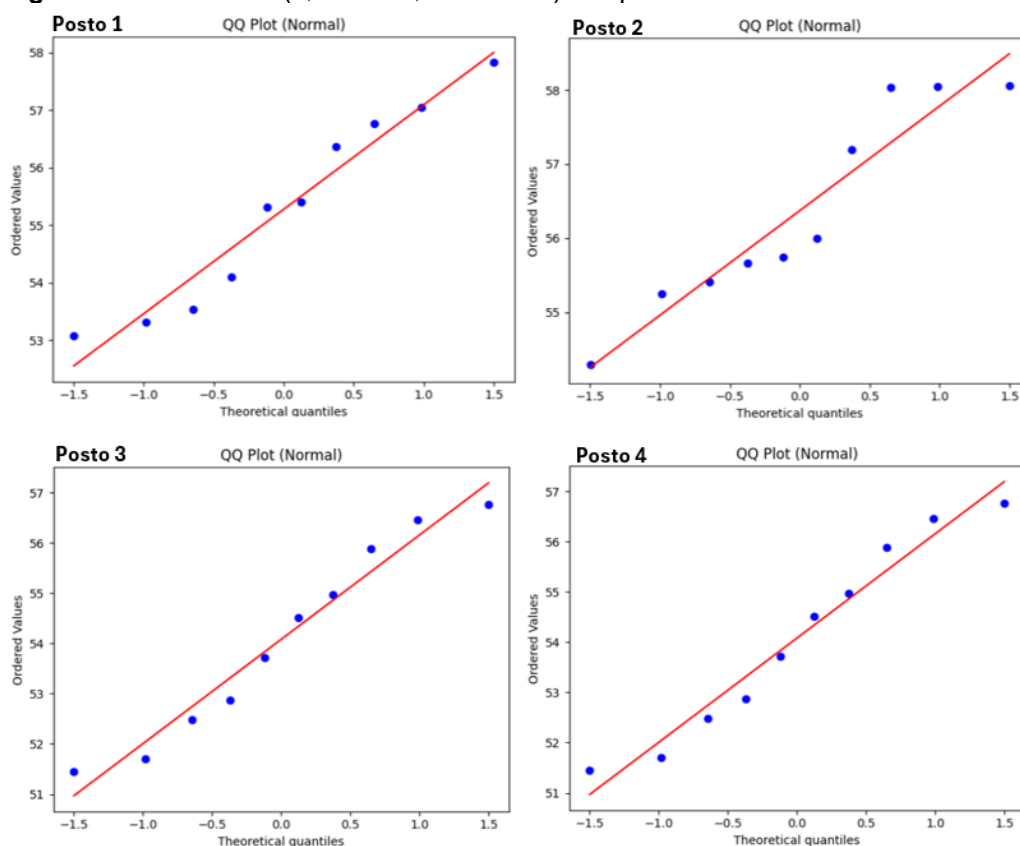
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos indicam que o número de cronometragens realizadas foi suficiente para representar o ritmo de trabalho dos postos, já que nenhum deles precisou de mais de dez medições para alcançar a validação estatística.

A verificação da normalidade das amostras foi feita com o teste de Shapiro-Wilk, utilizando Python (versão 3.7) na plataforma Google Colab, por meio da

biblioteca `scipy.stats`. Para facilitar a interpretação visual, foi gerado um gráfico Q-Q (Quantile-Quantile Plot), que permitiu avaliar a aderência dos dados à distribuição normal, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Gráfico Q-Q (*Quantile-Quantile Plot*) dos postos analisados



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para o cálculo do Tempo Normal (TN), adotou-se um Fator de Ritmo (FR) de 100%, uma vez que os operadores apresentaram desempenho consistente e sem variações significativas durante a coleta. Dessa forma, o TN foi obtido a partir das médias amostrais, conforme recomendado na literatura de Tempos e Métodos aplicada à cronoanálise industrial (Corrêa, 2023; Antunes *et al.*, 2020).

O cálculo do Tempo Padrão (TP) deve considerar fatores que ocasionam interrupções naturais do trabalho, como necessidades pessoais, fadiga ou condições específicas das atividades, de modo a ajustar o Tempo Normal às condições reais de operação (Corrêa, 2023; Antunes *et al.*, 2020). A Tabela 2 apresenta os principais

fatores observados na planta, relacionados às características dos processos analisados.

Tabela 2 - Identificação dos fatores de fadiga para aplicação de tolerância

Fatores de fadiga	Valor em %
A. Tolerâncias invariáveis	
1. Tolerância para necessidades pessoais	5
2. Tolerância básica para fadiga	4
B. Tolerâncias variáveis	
1. Tolerância para ficar e pé	2
6. Atenção cuidadosa (b. fino ou precisão)	2
7. Nível de ruído (b. volume alto)	2
Total	15

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Com base no percentual total atribuído ao fator de fadiga, foi determinado o Fator de Tolerância (FT) aplicado aos tempos observados, resultando em um valor de 1,18. A partir dele, o Tempo Padrão (TP) foi obtido para cada posto de trabalho ajustando-se o Tempo Normal (TN) com a inclusão das tolerâncias previstas para o processo, conforme a literatura de Tempos e Métodos (Corrêa, 2023; Antunes *et al.*, 2020). Os resultados consolidados podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Tempo padrão dos postos da linha em estudo

Postos	TN	x	FT	=	TP
Posto 1	55,73	x	1,18	=	65,23
Posto 2	56,72	x	1,18	=	66,52
Posto 3	54,08	x	1,18	=	63,82
Posto 4	32,78	x	1,18	=	38,68

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

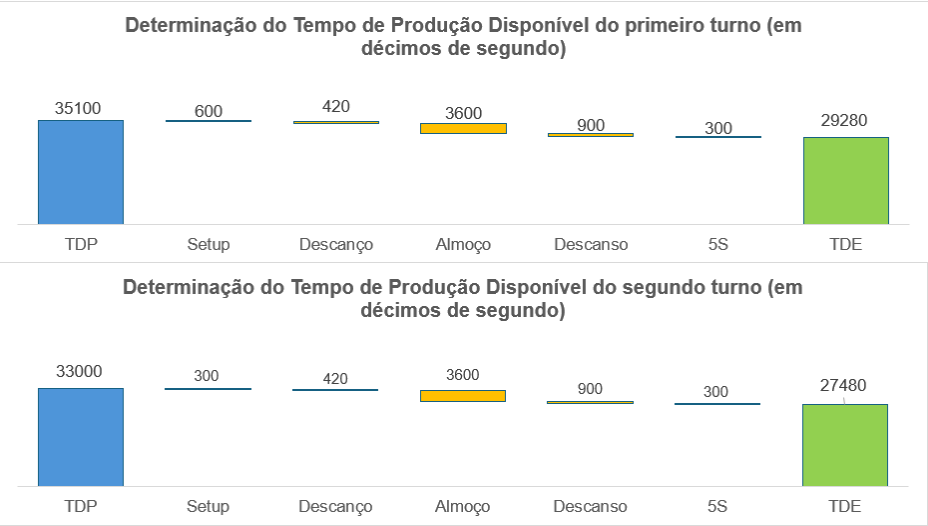
4.2.4 Capacidade de produção da linha de subcomponente

Em setembro de 2022, a linha principal apresentou uma demanda diária de 960 unidades, conforme dados do setor de Planejamento e Controle da Produção. A partir

dos Tempos Padrão levantados, foi analisada a capacidade produtiva com base na Teoria das Restrições (TOC), conforme abordagem moderna que enfatiza a identificação e alavancagem do gargalo produtivo para maximizar o ganho real do sistema (Chamráda; Kollmann, 2023).

A operação ocorre em dois turnos: das 7h00 às 16h45 e das 16h45 às 01h50, porém, o tempo efetivo de produção é reduzido por existirem paradas programadas como setups, refeições, pausas e o tempo dedicado à campanha 5S, prática comum na empresa. O Tempo de Produção Efetivo está representado na Figura 8.

Figura 8 - Gráfico de tempos do setor de solda



Fonte: Elaborado pelo autor.

O levantamento indicou que o tempo total disponível para produção diária é de 56.760 segundos, resultado da soma dos dois turnos. Esse tempo foi a base para o cálculo da capacidade produtiva de cada posto, conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Tabela de capacidade produtiva

Postos	Tempo Padrão (TP em segundos decimais)	Capacidade diária (unidades)
Posto 1	65,23	870
Posto 2	66,52	853
Posto 3	63,82	889
Posto 4	38,68	1467

Fonte: Elaborado pelo autor.

A capacidade produtiva da linha é determinada pelo posto com menor rendimento, o chamado posto gargalo, conforme estabelece a Teoria das Restrições. No caso analisado, esse gargalo está no processo 2, que limita a produção diária a 853 unidades. Essa limitação foi confirmada por meio de entrevistas e análise de relatórios fornecidos por gestores, que também registram a realização de horas extras para atingir a produção e evitar atrasos nos setores dependentes, como pintura e montagem.

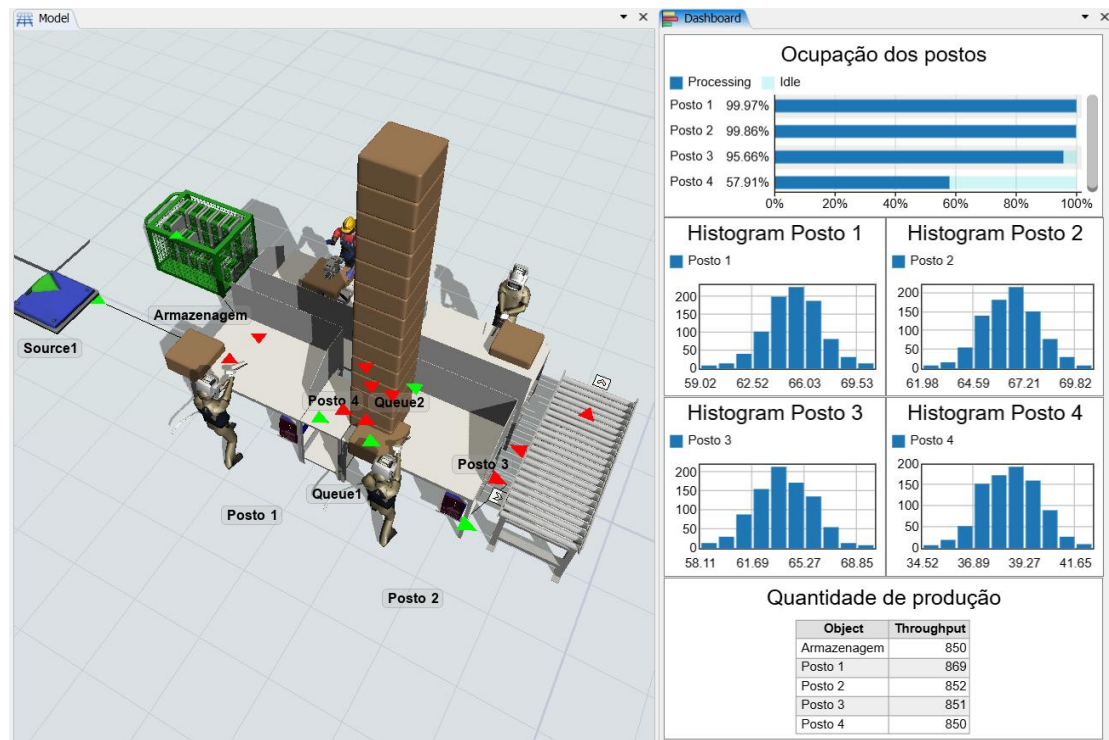
O projeto de modernização da estrutura fabril considera, além da demanda atual, uma previsão de crescimento de 20% acima da meta de produção, o que reforça a necessidade de ajustes na capacidade instalada.

4.3 Simulação da produção e automatização dos processos

A simulação permite avaliar cenários produtivos sem alterações físicas no sistema ou agregar custos com alterações físicas do layout incorrendo em riscos operacionais durante a fases de testes. Estudos recentes mostram que o uso de modelos computacionais de simulação, como o FlexSim, possibilita avaliar cenários alternativos, otimizar fluxos, melhorar processos produtivos e apoiar decisões estratégicas com maior segurança e menor custo (Lewicki *et al.*, 2024).

Para reduzir esses riscos, foi adotada a simulação computacional como apoio à definição do fluxo de produção. Com isso, foi desenvolvido um modelo que representa o cenário atual da fabricação do subcomponente traseiro do chassi, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Modelo de produção atual



Fonte: Elaborado pelo autor.

A simulação foi realizada com base nos Tempos Padrão de cada posto conforme Tabela 4, a distribuição normal e o desvio padrão, conforme Tabela 1, considerando o Tempo Disponível Efetivo de 56.760 segundos por dia e o fluxo de processos conforme Figura 6. A capacidade produtiva diária de 850 unidades, obtida na simulação, confirmou os dados levantados na empresa, permitindo avançar para a etapa de dimensionamento da nova estação de soldagem automatizada. Com isso, foi possível definir o número adequado de robôs, estabelecer o modelo de operação homem-máquina e simular a nova configuração necessária para atender à linha principal.

4.3.1 Dimensionamento do número de robôs da estação de trabalho

O dimensionamento do número de robôs da estação de trabalho foi realizado com base na demanda anual projetada, acrescida de 20% conforme previsto no plano estratégico da empresa, elevando a necessidade diária de produção de 960 para

1.152 subcomponentes. A partir dessa premissa, determinou-se o Takt time requerido para a nova célula de soldagem, considerando o tempo efetivo de produção disponível por dia. A relação entre o tempo efetivo disponível para produção e o plano de produção resultou em um tempo de ciclo de aproximadamente 49,27 segundos por unidade, valor que serviu como referência para definir a quantidade de robôs necessária para atender ao ritmo da linha.

Para atender esse tempo, foi estimado o número de robôs com base no comprimento total dos cordões de solda que é 890 mm, e velocidade média de aplicação observada em outras células automatizadas presentes na empresa, de 13 mm/s. O tempo necessário para soldar um subcomponente é de aproximadamente 68,46 segundos, conforme cálculo apresentado.

13mm → 1 segundo

890mm → x segundos

x = 68,46 segundos

A análise do tempo de soldagem indicou que um único robô operando a velocidade padrão adotada na empresa não conseguiria atender ao Takt time da linha. Com base na eficiência estimada para novos postos automatizados em 85%, adotada como parâmetro conservador pela equipe, verificou-se a necessidade de ,1,63 equipamentos, ou seja, duas unidades. A quantidade de robôs permitiu a divisão do comprimento total de solda de 890mm reduzindo o tempo de operação individual para aproximadamente 34 segundos, garantindo a aplicação de todas as soldas necessárias ao produto.

4.3.2 Estação de trabalho automatizado

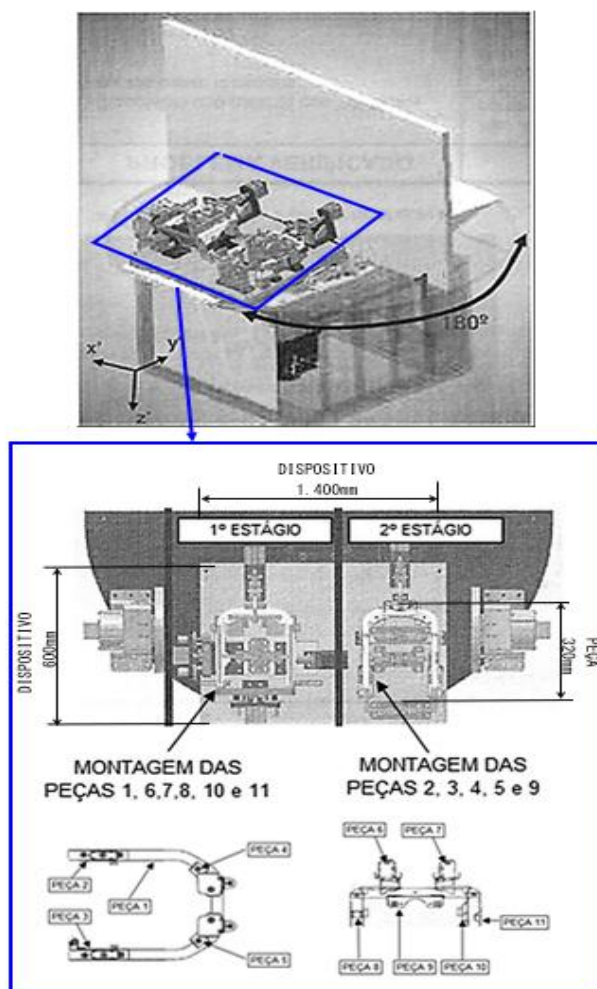
A proposta de implantação da estação de trabalho parte do conceito de célula de soldagem, com foco na melhoria da produtividade por meio da redução dos Tempos de Espera. Essa estratégia busca eliminar o tempo ocioso do operador enquanto os robôs realizam suas operações.

A célula de soldagem considera dois robôs industriais MIG/MAG tradicionais articulados de seis eixos, com alcance típico entre 1.400 mm e 1.800 mm e capacidade de carga entre 6 kg e 12 kg. Esses manipuladores apresentam

repetibilidade aproximada de $\pm 0,03$ mm, garantindo a precisão na aplicação dos cordões de solda e repetibilidade do processo.

A Figura 10 apresenta a configuração dos dispositivos de soldagem na mesa giratório que fica a frente dos robôs. Essa configuração atende ao alcance das articulações dos robôs para a soldagem além de demonstrar a distribuição das peças neste processo.

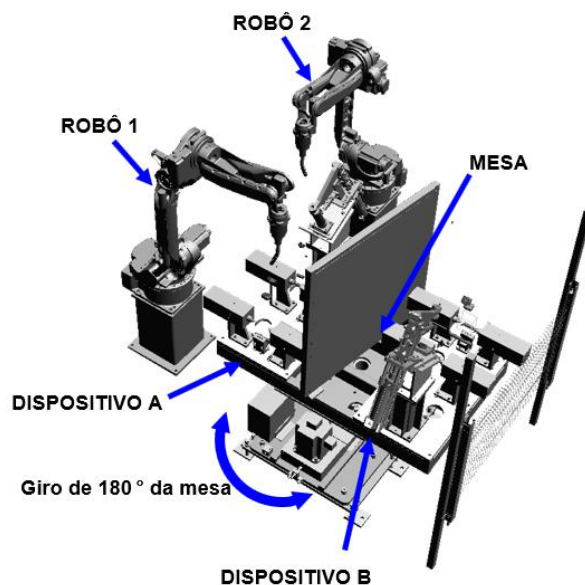
Figura 10 – Configuração da célula de soldagem e disposição do subcomponente no dispositivo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para isso, a configuração da estação, também chamada de célula de soldagem, foi definida conforme o modelo apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Estação de trabalho: célula de soldagem do subcomponente traseiro

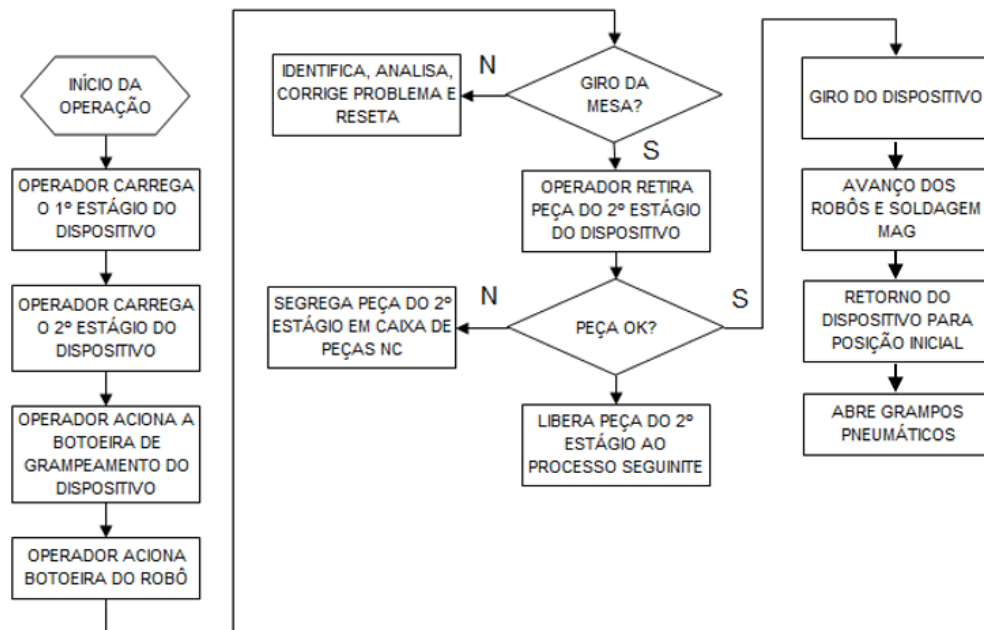


Fonte: Elaborado pelo autor.

A célula de soldagem conta com dois dispositivos A e B, posicionados em lados opostos de uma mesa rotativa com giro de 180°. Essa configuração permite que, enquanto os robôs realizam a soldagem em uma peça no dispositivo A, o operador prepare a próxima peça no dispositivo B. Ao final da operação, a mesa gira e inicia um novo ciclo, otimizando o tempo de produção.

A Figura 12 apresenta o fluxograma de operação proposto para a célula de soldagem, descrevendo a sequência de atividades realizadas pelo operador e pelos robôs MIG/MAG, incluindo as etapas de alimentação das peças no dispositivo, fixação, soldagem, inspeção e tomada de decisão quanto à conformidade do produto antes de passar ao processo seguinte.

Figura 12 - Fluxograma operacional da célula de soldagem automatizada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para estimar o tempo de processo da célula automatizada, foi utilizado o diagrama homem-máquina, que permitiu calcular o Tempo Normal com base nas interações entre operador e robôs, conforme ilustrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Diagrama homem-máquina para o novo processo de solda automatizado

Homem		Máquina	
Operador 1	Tempo (seg)	Robôs de solda	Tempo (seg)
Espera	2,0	Gira a mesa dos dispositivos para acessar o DISPOSITIVO B	2,0
Retira subcomponente traseiro soldado do DISPOSITIVO A e armazena	6,0	Avanço da tocha e aplicação da solda (Dois robôs)	34,0
Pega a peça soldada do 1º estágio e monta no 2º estágio	4,0		
Pega peças 6 e 7 e monta no dispositivo, 1º estágio	3,5		
Pega peças 10 e 11 e monta no dispositivo, 1º estágio	3,5		
Pega peças 8 e 9 e monta no dispositivo, 1º estágio	3,5		

Pega peça 1 e monta no dispositivo, 1º estágio	5,0		
Aciona botoeira para fechamento do dispositivo 1º estágio (fixação das peças)	2,0		
Pega peças 2 e 3 e monta no dispositivo, 2º estágio	3,5		
Pega peças 4 e 5 e monta no dispositivo, 2º estágio	3,5		
Aciona botoeira para fechamento do dispositivo 2º estágio (fixação das peças)	2,0	Espera	2,0
Aciona a botoeira de giro da mesa dos dispositivos	2,0	Abre grampos de fixação do DISPOSITIVO B	2,5
Tempo total	40,5	Tempo total	40,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

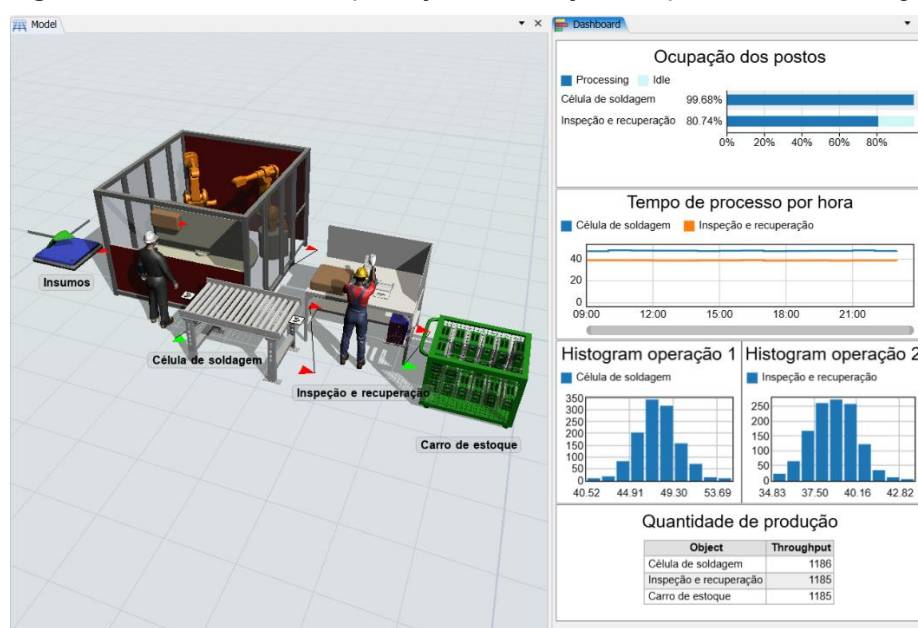
A análise do diagrama resultou no tempo de 40,5 segundos, correspondente às atividades do operador enquanto os robôs realizam a soldagem. Este tempo será o Tempo Normal da nova estação de trabalho. Embora tenha sido registrada uma espera de 2 segundos pelos robôs, esse valor foi considerado insignificante para o ciclo total.

Logo, o Tempo Padrão foi calculado mantendo as condições do Fator de Tolerância que multiplicado ao novo Tempo Normal, chegou-se ao valor de 47,79 segundos, que será utilizado na simulação do processo automatizado.

4.3.3 Simulação da linha com o processo automatizado

A simulação foi novamente aplicada como ferramenta de validação de um novo processo automatizado, analisando o atendimento do plano de produção, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Novo cenário de produção: automação dos processos de soldagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

A célula automatizada substituiu os três postos de soldagem manual, reduzindo o fluxo de quatro para dois postos. O primeiro, dedicado à soldagem, apresentou tempo médio de ciclo de 47,69 segundos. O segundo, voltado à inspeção e recuperação de peças, manteve uma média de 38,66 segundos, sem alterações relevantes. O número mínimo de peças produzidas é dado pelo posto 2 e ficou com média de 1185 unidades, valor este que atende as premissas de projeto.

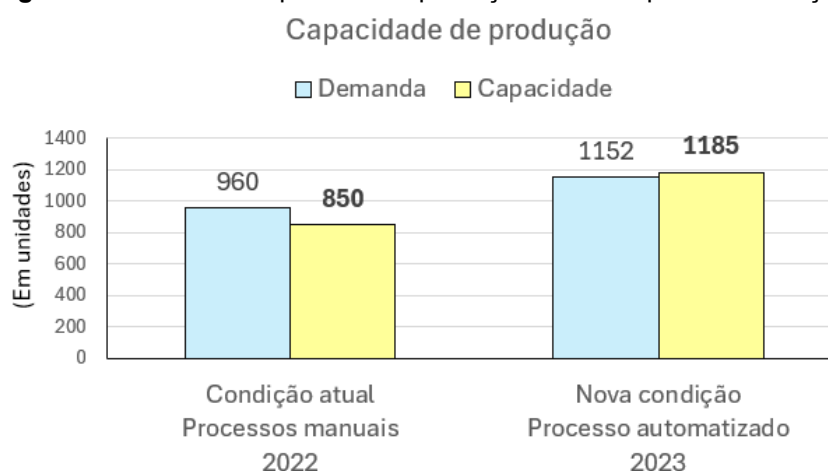
Com esses resultados, o projeto foi validado e aprovado para implantação na primeira fase de modernização da linha de soldagem de chassis tubulares.

5 DISCUSSÃO

As etapas de estudo de novos processos requerem análise de cenários e avaliações técnicas que possibilitem alterações seguras e assertivas. Nesse contexto, a existência de processos similares na planta industrial mostrou-se importante, servindo de base para a definição do diagrama homem-máquina e contribuindo para a concepção do novo processo.

A simulação realizada com o software FlexSim evidenciou o papel fundamental dessa ferramenta ao comparar o comportamento real dos postos com o comportamento simulado, gerando análises mais precisas e permitindo a validação da proposta de automação apresentada neste artigo. Os resultados da simulação demonstraram que a condição atual da linha apresenta déficit no atendimento da demanda de 850 peças diárias do subcomponente traseiro do chassi, o que representa 88,5% da necessidade da linha principal, estimada em 960 unidades (Figura 14).

Figura 14 - Gráfico comparativo de produção antes e após a automação



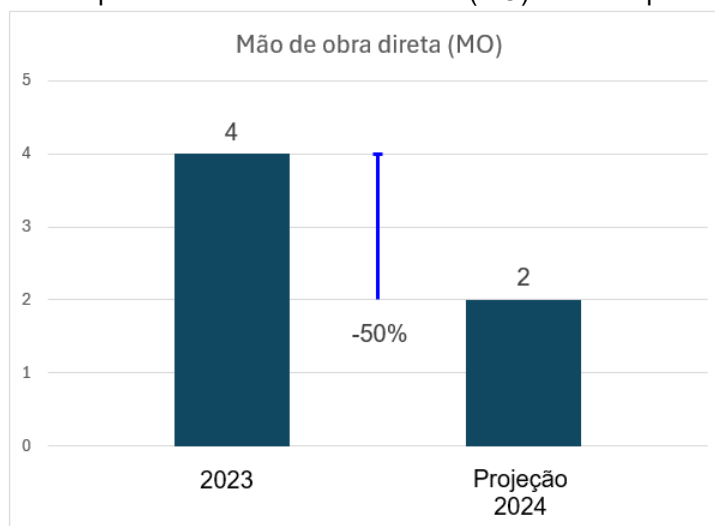
Fonte: Elaborado pelo autor.

O modelo final aprovado mostrou ganhos significativos de eficiência, reduzindo os quatro postos originais, três de soldagem e um de inspeção, para apenas dois: uma estação de soldagem com dois robôs capazes de aplicar todos os cordões de solda especificados em projeto, e um posto de inspeção e recuperação. Além da redução de postos, foi possível aumentar a capacidade de produção do subcomponente em 23%, superando a meta de 20% prevista para investimentos em automação, passando de 850 para 1.185 peças diárias, cerca de 33 unidades acima da meta de 1.152.

Também foi possível observar a redução de 50% na mão de obra direta (MO) para produção do subcomponente, passando de três operadores de solda e um de inspeção para apenas um responsável pela célula automatizada e um para a inspeção e recuperação. Essa mudança elevou a produtividade por operador, que saltou de 212

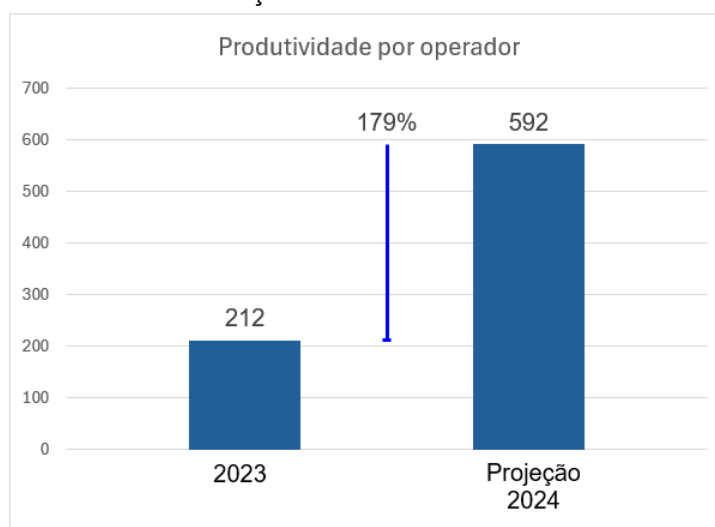
para 592 peças por operador/dia, um ganho de aproximadamente 179%, conforme demonstrado nos gráficos na Figura 15 e Figura 16.

Figura 15 - Gráfico comparativo da mão de obra direta (MO) antes e após a automação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 16 - Gráfico comparativo da produtividade por operador antes e após a automação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além desses ganhos, também foi possível projetar a melhoria imediata na eficiência do tempo produtivo (TDE/TDP) e a redução de custos indiretos para o setor de solda, ainda que tais valores não possam ser explicitados por se tratar de

informações privativas da empresa. Também é importante destacar que a realocação da mão de obra excedente para setores em expansão impediu qualquer desligamento de funcionários, contribuindo de forma positiva para a estratégia de crescimento da organização.

Passados dois anos da implementação do projeto, 2023 e 2024, os resultados simulados confirmaram-se na prática. A linha automatizada manteve a produção acima da meta de 1.152 unidades diárias, consolidando ganhos de eficiência, redução de mão de obra direta e melhoria no tempo produtivo (TDE/TDP), de acordo com as projeções apresentadas neste estudo. Durante a implementação, foram identificadas dificuldades operacionais e de integração tecnológica robôs, operadores e manutenção; contudo, essas situações já haviam sido previstas nos planejamentos de engenharia, o que permitiu tratá-las de forma controlada. Dessa forma, assegurou-se o cumprimento dos objetivos do projeto, garantindo a entrega do plano de produção conforme previsto no processo automatizado.

6 CONCLUSÃO

O objetivo deste estudo foi demonstrar a viabilidade da automação dos processos de soldagem do subcomponente traseiro do chassi tubular por meio da aplicação do estudo de tempos e métodos, análise estatística e simulação computacional das propostas de processos. Os resultados demonstraram o aumento da capacidade produtiva, redução da mão de obra direta e melhoria da eficiência do tempo produtivo para a melhoria dos processos estudados.

Destaca-se como principal contribuição deste trabalho a utilização de ferramentas clássicas da Engenharia de Produção aliadas às técnicas de simulação computacional, permitindo reduzir erros no planejamento de processos automáticos. A proposta para estudos futuros é a aplicação desta metodologia para os outros subcomponentes da linha principal e expandir os estudos integrando tecnologias de monitoramento sistemas de monitoramento da produção, como MES (Manufacturing Execution System) ou indicadores de eficiência global (OEE), alinhados aos conceitos da Indústria 4.0.

REFERÊNCIAS

- ABRACICLO. **Produção de motocicletas deve ultrapassar 1,8 milhão de unidades em 2025**. 2025. Disponível em: <https://abraciclo.com.br/press-releases/2025/producao-de-motocicletas-deve-ultrapassar-18-milhao-de-unidades-em-2025/>. Acesso em: 19 jun. 2025.
- ANTUNES, J. A. V.; LIMA, R. H. P.; MORAIS, D. Q. A. **Tempos e métodos: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Atlas, 2020.
- CARVALHO, I. A.; SOUZA, M. C. A. de. *Análise de riscos em projetos de engenharia de produção: metodologias e ferramentas*. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 9, n. 11, p. 2443–2458, 2023. DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v9i11.12641>.
- CECCAGNO, C. S.; HOOSE, A.; SCHEIDMANDEL, N. A. **Aplicação da teoria das restrições em uma célula de produção utilizando software de simulação**. Revista CIATEC-UPF, v. 13, n. 2, p. 27-39, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5335/ciatec.v13i2.12938>.
- CHAMRÁDA, D.; KOLLMANN, J. **Evolution of the Theory of Constraints: a literature review**. Transport & Communications, v. II, 2023. DOI: <https://doi.org/10.26552/tac.C.2023.2.2>.
- CORRÊA, L. E. A. **Estudo de tempos e movimentos**. Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção, v. 11, n. 19a, p. 22–42, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5380/relainep.v11i19a.88269>.
- COSTA, G. C. S. da. **Avaliação de potencialidades do processo de soldagem TIG MIG/MAG com variação de polaridade no eletrodo MIG/MAG**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia) — Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/940/o/Diss_TIGMIGMAG_Gabriella_Final.pdf. Acesso em: 26 jul. 2025.
- FREIRE, R. S.; LONGHINI, T. M. **Estudo de tempos e movimentos no processo produtivo de uma indústria de gelados comestíveis**. Revista Vianna Sapiens, v. 13, n. 2, p. 36-40, 2022. DOI: <https://doi.org/10.31994/rvs.v13i2.893>.
- GOSSELIN, R. D. **Testing for normality: a user's (cautionary) guide**. Laboratory Animals, v. 58, n. 2, p. 171–183, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1177/00236772241276808>.
- HATEM, G.; AL-MAWLAWI, M.; KHATIB, L. **Normality testing methods and the importance of skewness and kurtosis in statistical analysis**. European Journal of Research and Reflection in Educational Sciences, v. 10, n. 1, p. 64–73, 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/367669081>. Acesso em: 27 jan. 2025.

KOMNINAKIS, D.; PIRATELLI, C. L.; ACHCAR, J. A. **Análise de confiabilidade para formulação de estratégia de manutenção de equipamentos em uma empresa da indústria alimentícia.** *Revista Produção Online*, v. 18, n. 2, p. 560–592, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v18i2.2871>

LEWICKI, W.; DEBSKI, H.; SIENICKI, P.; GORCZYCA, P. **Development of a simulation model to improve the production system using FlexSim.** *Applied Sciences*, v. 14, n. 16, p. 6957, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14166957>.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.** 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

MODENESI, P. J.; COSTA, S. C. **Soldagem: fundamentos e tecnologia.** 3. ed. Rio de Janeiro: SENAI, 2017.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações.** 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2017.

PANAGGIO, I. **Aplicação da cronoanálise em processo industrial.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11449/259655>. Acesso em: 15 ago. 2025.

SILVA, K. O. A. N.; LIMA, R. S.; ALVES, R. **The impacts of the pandemic on urban freight deliveries.** *International Journal of Simulation Modelling*, v. 23, n. 1, p. 65–76, 2024. DOI: <https://doi.org/10.2507/IJSIMM23-1-672>.

SILVA, V. A. *et al.* Aplicação do simulador de eventos discretos FlexSim® para virtualização do módulo VGR (robô) do simulador físico Fischertechnik® em um contexto de Digital Twin. *Revista Produção Online*, v. 24, n. 2, e-5234, 2024. DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v24i2.5234>.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

SOTSEK, N. C.; VIVAN, M. F.; DE OLIVEIRA, A. R. **Time and motion study in the Industry 4.0 era: a systematic review.** *GEPROS*, v. 17, n. 3, 2022. DOI: <https://doi.org/10.15675/gepros.v17i3.2879>.

Biografia do(s) autor(es)

Allan Bezerra Areque

Bacharel em Tecnologia em Manutenção Mecânica pela Universidade do Estado do Amazonas. Bacharelando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Amazonas.

Nicolas Abreu Gemaque Guimarães

Bacharelado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Amazonas.

Jordânia Louse Silva Alves

Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Pernambuco. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Pernambuco. Professora da Universidade Federal do Amazonas-UFAM, AM-Brasil.

Marcelo Albuquerque de Oliveira

Engenheiro Eletricista de formação, é Pós-doutor em Ciências Empresariais, com linha de pesquisa voltada para Economia Circular e Sustentabilidade pela Universidade Fernando Pessoa (Portugal). Possui Ph.D. em Engenharia Industrial e Sistemas pela Universidade de Minho (Portugal) e Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Amazonas. Professor do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas.



Artigo recebido em: 18/11/2025 e aceito para publicação em: 29/08/2026

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v26i3.5734>