



Modelagem e Simulação Computacional: Buscando Melhorias no Tempo de Processo de uma Indústria de Expositores Refrigerados

Computational Modeling and Simulation: Seeking Improvements in the Process Time of a Refrigerated Display Case Industry

Fabiano Leandro Rubio

Faculdade de Tecnologia de Jahu.

Gabriel Henrique Gomes Campeiro

Faculdade de Tecnologia de Jahu.

Evandro Antônio Bertoluci

Faculdade de Tecnologia de Jahu. <http://lattes.cnpq.br/4256874328191208>

Cida Cristina de Sousa Moraes

Faculdade de Tecnologia de Jahu. <https://lattes.cnpq.br/6658496627431144>

Resumo: O presente estudo tem como objetivo analisar e propor melhorias no tempo de execução dos processos produtivos da empresa Maqfrio, especializada na fabricação de móveis para padarias e expositores refrigerados. A pesquisa foi desenvolvida com abordagem qualitativa e quantitativa, utilizando técnicas de mapeamento de processos, observação direta, entrevistas semiestruturadas e análise de indicadores de desempenho (KPIs). Para apoiar a análise dos processos produtivos, foram utilizadas a modelagem e simulação computacional por meio do software Arena, permitindo representar virtualmente o fluxo de produção da empresa e avaliar diferentes cenários operacionais. A simulação possibilitou identificar gargalos, filas, tempos de espera e níveis de utilização dos recursos, contribuindo para a proposição de melhorias voltadas à redução do lead time e ao aumento da eficiência operacional. Foram realizados dois cenários de simulação, possibilitando comparar o comportamento do sistema produtivo antes e após alterações no fluxo. Os resultados demonstraram melhora parcial no desempenho do processo, com redução de gargalos em algumas etapas, embora persistam restrições produtivas em setores específicos. Conclui-se que a simulação computacional constitui uma importante ferramenta de apoio à tomada de decisão, permitindo analisar cenários, reduzir riscos e promover melhorias contínuas nos processos industriais.

Palavras-chave: simulação de processos; arena simulation; gargalos produtivos; gestão de processos; eficiência operacional.

Abstract: This study aims to analyze and propose improvements to the execution time of the production processes at Maqfrio, a company specializing in the manufacture of bakery furniture and refrigerated display cases. The research was developed using a qualitative and quantitative approach, employing process mapping techniques, direct observation, semi-structured interviews, and analysis of key performance indicators (KPIs). To support the analysis of the production processes, computational modeling and simulation were used through the Arena software, allowing for the virtual representation of the company's production flow and the evaluation of different operational scenarios. The simulation made it possible to identify bottlenecks, queues, waiting times, and resource utilization levels, contributing to the

proposal of improvements aimed at reducing lead time and increasing operational efficiency. Two simulation scenarios were carried out, allowing for a comparison of the production system's behavior before and after changes in the flow. The results demonstrated a partial improvement in process performance, with a reduction in bottlenecks in some stages, although production constraints persist in specific sectors. In conclusion, computer simulation is an important tool to support decision-making, enabling the analysis of scenarios, risk reduction, and the promotion of continuous improvements in industrial processes.

Keywords: process simulation; arena simulation; production bottlenecks; process management; operational efficiency

INTRODUÇÃO

A competitividade crescente no ambiente empresarial exige que as organizações busquem constantemente a otimização de seus processos, visando maior eficiência operacional e redução de custos. Nesse ambiente de alta competitividade, a melhoria do tempo dos processos torna-se um fator estratégico, pois impacta diretamente na produtividade, na qualidade dos produtos e serviços e na satisfação dos clientes. A capacidade de entregar resultados de forma mais ágil e eficaz passou a ser um diferencial essencial para a sustentabilidade e o crescimento das empresas.

Diversos autores abordam a importância da gestão de processos como ferramenta de melhoria contínua. Segundo Hammer e Champy (1994), a reengenharia de processos busca repensar e redesenhar as atividades empresariais para alcançar ganhos expressivos em desempenho. Já Slack, Chambers e Johnston (2015) destacam que a gestão de operações é fundamental para alinhar os processos produtivos às estratégias organizacionais, garantindo que o tempo de execução e os recursos sejam utilizados da forma mais eficiente possível. Por sua vez, a filosofia do *Lean Manufacturing*, conforme ressaltam Womack e Jones (2004), propõe a eliminação de desperdícios e a maximização do valor agregado, sendo uma das principais abordagens aplicadas na redução de tempo e melhoria de fluxo nos processos.

A partir dessa necessidade de maior eficiência operacional, a simulação computacional surge como uma importante ferramenta de apoio à tomada de decisão e à análise de sistemas produtivos. A simulação permite representar virtualmente o funcionamento de processos reais, possibilitando identificar gargalos, testar diferentes cenários e avaliar melhorias sem a necessidade de interferir diretamente no ambiente operacional. Com isso, as organizações conseguem reduzir riscos, custos e tempo de implementação de mudanças, além de aumentar a confiabilidade das decisões estratégicas.

Entre os softwares mais utilizados para modelagem e simulação de processos destaca-se o Arena Simulation, amplamente aplicado em estudos acadêmicos e industriais. É um software de simulação de eventos discretos que possibilita modelar sistemas complexos de maneira visual e intuitiva, permitindo analisar fluxos de produção, filas, utilização de recursos e tempos de processamento. Por meio de

seus recursos estatísticos e gráficos, o software auxilia na identificação de pontos críticos e na avaliação de alternativas de melhoria, contribuindo para o aumento da eficiência operacional e para a otimização dos processos organizacionais. Além disso, sua capacidade de reproduzir cenários próximos da realidade torna o Arena uma ferramenta relevante para estudos voltados à engenharia de produção, logística e gestão de operações.

Com a crescente competitividade no setor industrial, empresas que possuem processos operacionais eficientes, reduzem custos e têm melhorias contínuas na qualidade são as que se destacam no quesito sustentabilidade e crescimento organizacional. De acordo com Ohno (1997), no Toyota Production System, grande parte dos problemas industriais está associada à presença de desperdícios ao longo dos processos produtivos, como excesso de estoque, tempo de espera, movimentações desnecessárias e retrabalho. Esses fatores impactam diretamente o tempo de produção e a eficiência global do sistema.

Sob essa perspectiva, a melhoria de processos se justifica como uma abordagem estratégica para a eliminação sistemática desses desperdícios, promovendo um fluxo produtivo mais contínuo, ágil e alinhado às demandas do cliente. A redução do tempo de processamento, defendida pelo Sistema Toyota de Produção, não apenas contribui para a diminuição de custos operacionais, mas também aumenta a capacidade de resposta da empresa frente às variações do mercado.

Dessa forma, esta pesquisa se justifica pela necessidade de propor melhorias nos processos da empresa Maqfrio, atuante no setor de refrigeração comercial e industrial, com base em princípios consolidados da produção, visando aumentar a eficiência, reduzir desperdícios e melhorar o desempenho competitivo da organização.

Para a análise e proposição de melhorias nos processos da empresa, foi utilizado o Arena Simulation Software, uma ferramenta amplamente reconhecida na área de simulação de sistemas produtivos. A escolha do Arena se justifica por sua capacidade de representar, de forma detalhada e dinâmica, o funcionamento de processos industriais complexos, permitindo a visualização do fluxo de operações, identificação de gargalos e avaliação de desempenho.

A aplicação do Arena Simulation Software configura-se como um diferencial metodológico desta pesquisa, uma vez que possibilita a realização de experimentos em ambiente virtual, como testar diferentes cenários de melhoria com alterações no layout, redistribuição de recursos ou mudanças no sequenciamento de atividades sem interferir na produção real da empresa.

A utilização do Arena traz a confiabilidade dos resultados obtidos e contribui para uma análise mais robusta, alinhando a pesquisa a práticas modernas de engenharia de produção e gestão de operações.

Este trabalho tem como objetivo geral analisar e propor melhorias no tempo de execução dos processos na empresa Maqfrio, empresa especializada na fabricação de móveis para padarias e projetos personalizados, identificando gargalos e apresentando soluções que contribuam para maior eficiência operacional.

Como objetivos específicos, busca-se mapear o processo atual e identificar etapas que geram atrasos; avaliar as causas dessas ineficiências; propor ações corretivas com base em metodologias de melhoria contínua, como Lean e BPM (Business Process Management); e mensurar os resultados esperados em termos de tempo e desempenho.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Maqfrio é uma empresa brasileira atuante no segmento de refrigeração comercial e fabricação de móveis para padarias, fundada em 19 de julho de 1993, com sede no Distrito Industrial de Jaú. Com mais de 30 anos de experiência no mercado, a empresa consolidou-se como referência regional no desenvolvimento de soluções completas para estabelecimentos do setor alimentício, especialmente panificadoras. Classificada como uma empresa de médio porte, a Maqfrio destaca-se pela oferta integrada de produtos e serviços, que incluem equipamentos de refrigeração comercial, balcões expositores, vitrines refrigeradas, além de mobiliário sob medida. Seu portfólio é voltado principalmente para padarias, confeitarias e estabelecimentos similares, atendendo clientes que buscam funcionalidade, eficiência e apelo estético em seus espaços comerciais. Com uma infraestrutura moderna instalada em Jaú (SP), a empresa integra setores de marcenaria, marmoraria e metalurgia, possibilitando a entrega de soluções completas e sob medida.

No contexto atual da Maqfrio, observa-se a necessidade de aprimoramento contínuo dos processos produtivos, visando maior eficiência operacional e competitividade no mercado. Com uma estrutura produtiva própria localizada em Jaú, a organização realiza internamente diversas etapas de fabricação, o que amplia seu controle sobre a qualidade, mas também exige maior coordenação entre os setores. Segundo Porter (1989), a eficiência operacional é um dos principais fatores para a obtenção de vantagem competitiva sustentável, especialmente em mercados industriais caracterizados por elevada concorrência e necessidade de diferenciação.

Atualmente, os processos produtivos da empresa envolvem etapas como corte de chapas metálicas, dobra, funilaria, soldagem, acabamento (incluindo lixamento e pintura), além da montagem final dos equipamentos e mobiliários. Essas atividades são realizadas de forma sequencial, com dependência direta entre os setores, o que pode gerar acúmulo de materiais em processo e aumento do tempo total de produção. Em muitos casos, a produção é orientada por projetos personalizados, o que eleva a complexidade operacional e reduz a padronização das atividades. Conforme destacam Slack, Chambers e Johnston (2015), sistemas produtivos com baixa padronização e elevada variabilidade tendem a apresentar maiores dificuldades de controle e sincronização dos processos.

Entre as principais dificuldades enfrentadas, destacam-se o tempo elevado de produção, a presença de gargalos em determinadas etapas, especialmente

em setores com maior demanda ou menor capacidade produtiva, e a ocorrência de desperdícios, seja de matéria-prima, retrabalho ou tempo ocioso. A falta de sincronização entre os processos também pode ocasionar filas internas, impactando diretamente o fluxo produtivo. Nesse contexto, os princípios do *Lean Manufacturing* apresentados por Womack e Jones (2004) tornam-se relevantes, pois defendem a eliminação de desperdícios e a melhoria contínua como formas de aumentar a eficiência e reduzir tempos improdutivos dentro das organizações.

Esses problemas refletem diretamente na competitividade da empresa, uma vez que prazos mais longos de entrega podem comprometer a satisfação dos clientes e limitar a capacidade de atendimento a novos projetos. Em um mercado cada vez mais exigente, no qual agilidade e qualidade são fatores decisivos, atrasos e ineficiências operacionais podem resultar na perda de oportunidades e na redução da fidelização dos clientes. Segundo Kotler (2000), a satisfação do cliente está diretamente relacionada à capacidade da empresa de atender prazos, qualidade e expectativas de valor.

Diante desse cenário, o estudo da redução do tempo de processo na Maqfrio torna-se relevante, tanto do ponto de vista interno quanto para o setor em que a empresa está inserida. A busca por maior eficiência produtiva está alinhada às principais tendências de mercado, como a adoção de práticas de *Lean Manufacturing*, além da crescente digitalização dos processos industriais. Nesse sentido, a simulação computacional destaca-se como uma importante ferramenta de análise e apoio à tomada de decisão. Conforme afirmam Banks *et al.* (2010), a simulação permite representar sistemas reais de maneira virtual, possibilitando a análise de cenários, identificação de gargalos e avaliação de melhorias sem interferir diretamente no processo produtivo real.

A modelagem e simulação de processos produtivos também são amplamente utilizadas na engenharia de produção devido à sua capacidade de prever comportamentos operacionais e reduzir riscos associados à implementação de mudanças. Segundo Law e Kelton (2007), a simulação de eventos discretos é uma das técnicas mais eficazes para análise de sistemas industriais complexos, pois permite representar filas, tempos de processamento, utilização de recursos e variabilidade operacional.

Entre os softwares utilizados para esse tipo de análise, destaca-se o Arena Simulation, desenvolvido para modelagem de processos industriais e logísticos. De acordo com Kelton, Sadowski e Zupick (2015), o Arena possibilita criar modelos visuais de sistemas produtivos, permitindo analisar fluxos, tempos de espera, capacidade produtiva e desempenho operacional. Sua aplicação em ambientes industriais auxilia na identificação de gargalos e na validação de propostas de melhoria antes da implementação prática, reduzindo custos e aumentando a assertividade das decisões gerenciais.

A implementação de melhorias voltadas à redução do tempo de produção pode trazer benefícios significativos, como a diminuição dos custos operacionais, o aumento da produtividade, a melhor utilização dos recursos disponíveis e a ampliação da capacidade de atendimento. Além disso, a redução de prazos contribui

diretamente para a satisfação dos clientes, fortalecendo a imagem da empresa no mercado e aumentando sua competitividade. Conforme destacam Ohno (1997) e Shingo (1996), a eliminação de desperdícios e a otimização do fluxo produtivo são elementos essenciais para o aumento da eficiência nas organizações industriais.

Dessa forma, a análise e otimização dos processos produtivos da Maqfrio configuram-se como uma estratégia essencial para garantir sua sustentabilidade e crescimento em um ambiente cada vez mais dinâmico e competitivo, sendo a utilização da simulação computacional e do software Arena ferramenta relevante para apoiar a tomada de decisão e promover melhorias consistentes nos processos organizacionais.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada é de natureza aplicada e descritiva, com abordagem qualitativa e quantitativa. Seguido da coleta de dados por meio de observação direta e entrevistas com colaboradores. Em seguida, os dados foram analisados à luz dos conceitos de gestão de processos e melhoria contínua, com o apoio de indicadores de desempenho (KPIs). Por fim, foram propostas ações de melhoria e foi avaliado o impacto potencial dessas mudanças no tempo total do processo estudado.

Para a compreensão detalhada dos processos produtivos internos da Maqfrio, adotou-se uma abordagem qualitativa baseada em observações diretas e entrevistas com colaboradores envolvidos nas etapas de fabricação. A coleta de dados foi realizada na unidade industrial localizada em Jaú, ao longo de um período de 3 meses, permitindo a análise do fluxo produtivo em condições reais de operação.

As observações diretas foram conduzidas de forma sistemática, contemplando diferentes etapas do processo produtivo, como corte, dobra, funilaria, acabamento e montagem dos balcões refrigerados. Foram realizadas múltiplas observações ao longo de dias e turnos distintos, com o objetivo de captar variações no ritmo de produção, identificar gargalos e mapear o fluxo de atividades. Como critério de amostragem, priorizaram-se processos considerados críticos, seja pelo tempo de execução, pela frequência de ocorrência ou pelo impacto direto no prazo final de entrega.

Paralelamente, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com colaboradores de diferentes setores produtivos, incluindo operadores, responsáveis por áreas e, quando aplicável, gestores envolvidos no acompanhamento da produção. As entrevistas tiveram como foco a identificação de dificuldades operacionais, percepção sobre desperdícios, sugestões de melhoria e entendimento do funcionamento prático dos processos no dia a dia.

Os dados obtidos por meio das entrevistas foram analisados utilizando a técnica de análise de conteúdo, com posterior categorização das informações em temas relevantes, como gargalos produtivos, retrabalho, tempo ocioso e falhas de comunicação entre setores. Essa abordagem permitiu a interpretação sistemática

das informações qualitativas, contribuindo para a identificação de padrões e pontos críticos nos processos analisados.

A combinação entre observação direta e entrevistas possibilitou uma visão abrangente e aprofundada da realidade produtiva da empresa, garantindo maior consistência na análise e fundamentação das propostas de melhoria voltadas à redução do tempo de processo.

Para a avaliação do desempenho dos processos produtivos, foram definidos indicadores-chave (KPIs) voltados à mensuração da eficiência operacional e do tempo de processo.

Entre os principais indicadores utilizados, destacam-se: o tempo de ciclo, que mede a duração de cada etapa produtiva; o lead time, que representa o tempo total do processo; o tempo médio de processamento por etapa, que permite analisar o desempenho individual das fases; e o tempo total de produção, relacionado à conclusão completa do produto.

Também foram considerados indicadores de utilização de recursos, como a taxa de utilização, que avalia o tempo efetivo de uso de máquinas e mão de obra; o nível de ociosidade, que identifica períodos de inatividade; e o tamanho médio das filas, que evidencia acúmulos entre etapas. A produtividade foi analisada como a relação entre a produção realizada e os recursos empregados.

A medição desses indicadores foi realizada em dois momentos: antes e após a implementação de melhorias. Inicialmente, os dados coletados serviram como base de referência para o desempenho atual. Posteriormente, os mesmos indicadores foram novamente mensurados, permitindo a comparação dos resultados e a verificação dos impactos gerados pelas mudanças implementadas. Os valores iniciais foram utilizados como parâmetro de comparação, possibilitando identificar ganhos de eficiência, redução de tempo de produção e melhor aproveitamento dos recursos.

Além da análise qualitativa e quantitativa dos processos produtivos, foram utilizadas a modelagem e simulação computacional por meio do software Arena, com o objetivo de representar virtualmente o fluxo de produção da empresa e avaliar o comportamento do sistema em diferentes cenários operacionais. A utilização da simulação permitiu identificar gargalos, tempos de espera, níveis de ociosidade e oportunidades de melhoria, sem a necessidade de interferir diretamente no ambiente real de produção. Dessa forma, foi possível analisar o impacto de alterações no processo produtivo antes de sua implementação prática, contribuindo para a tomada de decisão e para a proposição de melhorias mais assertivas.

A modelagem no software Arena foi desenvolvida a partir do mapeamento detalhado dos processos produtivos observados na empresa. Inicialmente, foram identificadas todas as etapas envolvidas na fabricação dos balcões refrigerados, incluindo corte, dobra, funilaria, acabamento e montagem. Cada etapa foi representada no ambiente de simulação por módulos específicos do software, considerando a sequência lógica das operações, o fluxo de materiais e a interação entre recursos, como máquinas e operadores. O modelo buscou reproduzir de forma

fiel as condições reais de funcionamento da produção, permitindo a visualização completa do comportamento do sistema produtivo.

A coleta de dados utilizada para alimentar o modelo de simulação foi realizada por meio das observações diretas e entrevistas conduzidas na unidade industrial da empresa. Foram levantadas informações relacionadas aos tempos de processamento, tempos de espera, capacidade produtiva, quantidade de operadores, utilização de máquinas e formação de filas entre os setores. Os dados coletados foram organizados e tratados estatisticamente, possibilitando a definição de parâmetros de entrada adequados para a simulação. Sempre que necessário, utilizaram-se médias e distribuições estatísticas para representar as variações naturais do processo produtivo.

Os parâmetros da simulação foram definidos com base nos dados obtidos durante a coleta de informações. Entre os principais parâmetros considerados estão os tempos de ciclo de cada operação, capacidade dos recursos produtivos, quantidade de entidades processadas, tempos de movimentação e regras de fila entre os setores. Também foram configurados indicadores de desempenho dentro do modelo, como lead time, tempo médio de espera, taxa de utilização dos recursos e tamanho médio das filas. A simulação foi executada em diferentes cenários, permitindo comparar o desempenho do sistema antes e após a implementação das melhorias propostas. Com isso, tornou-se possível avaliar os ganhos de eficiência operacional, a redução dos gargalos produtivos e o impacto das mudanças no tempo total do processo.

Os dados levantados foram:

Chegada de Matéria Prima: A cada 40 minutos

Corte e dobra: Tempo de processo 30 minutos, com 3 funcionários

Funilaria: Tempo de processo 60 minutos, com 4 funcionários

Solda e Acabamento: Tempo de processo 20 minutos, com 2 funcionários

Injeção 1: Tempo de processo 40 minutos, com 1 funcionário

Elétrica 1: Tempo de processo 20 minutos, com 2 funcionários

Injeção 2: Tempo de processo 50 minutos, com 1 funcionário

Elétrica 2: Tempo de processo 60 minutos, com 2 funcionários

Os dados levantados são baseados em 1 dia de trabalho (540 minutos), representando a fabricação de 2 balcões refrigerados por período.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar o desempenho do processo produtivo da Maqfrio, foram realizadas duas simulações distintas no Software Arena, quais sejam: cenário 1 (situação atual) e cenário 2 (sugestão de melhoria). As simulações representam diferentes cenários da linha de produção, permitindo identificar gargalos, filas formadas e a eficiência de cada etapa. A comparação entre os modelos permite observar se as alterações propostas realmente melhoram o fluxo e reduzem o tempo total de produção.

Cenário 1 – Primeira Simulação

Para o início, as entidades (caixas verdes) foram alimentadas com os dados coletados anteriormente e separados por cada processo necessário para fabricação dos balcões refrigerados conforme a Figura 1:

Figura 1 Preenchimento das entidades no software Arena.

The figure displays eight screenshots of the Arena software interface, arranged in two rows of four. Each screenshot shows a different entity or process configuration window. The top row shows the 'Entity' configuration windows for 'Random (Exp)', 'Resource: Gustavo', 'Resource: Barreto 2', 'Resource: Lucas 2', 'Resource: Marcos', 'Resource: Gabriel', 'Resource: Evandro', and 'Resource: Ozama'. The bottom row shows the 'Process' configuration windows for 'Injeção1', 'Elétrica', 'Injeção2', 'Elétrica2', 'Solda e Acabamento', 'Elétrica1', 'Injeção3', and 'Elétrica3'. Each window includes fields for Name, Type, Logic, Action, Priority, Resources, Delay Type, Units, Allocation, Expression, Report Statistics, and Comment. The 'Resources' field in each process window lists the resources assigned to that process, such as 'Resource: Gustavo, 1' for 'Injeção1'.

Fonte: Autoria própria (2026).Na primeira simulação, o fluxo produtivo ficou organizado da seguinte forma:

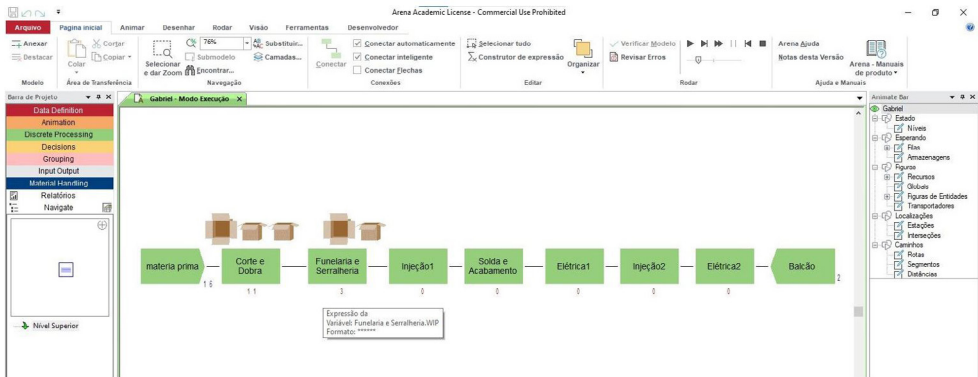
Chegada da matéria-prima → Corte e Dobra → Funilaria e Serralheria → Injeção 1 → Solda e Acabamento → Elétrica 1 → Injeção 2 → Elétrica 2 → Balcões prontos. Observou-se a formação de filas significativas em algumas etapas específicas do processo. A distribuição de entidades (caixas verdes) nas filas foi a seguinte:

- Matéria-prima: 16 unidades;
- Corte e Dobra: 11 unidades;
- Funilaria e Serralheria: 3 unidades;
- Injeção 1: 0 unidades;
- Solda e Acabamento: 0 unidades;
- Elétrica 1: 0 unidades;
- Injeção 2: 0 unidades;
- Elétrica 2: 0 unidades;

Balcões Prontos: 2 unidades.

Conforme mostra a Figura 2:

Figura 2 - Simulação dos Processos atuais da empresa no software Arena.



Fonte: Autoria própria (2026).

A análise da simulação indica que o sistema apresenta um desbalanceamento produtivo, concentrando estoque em processo nas etapas de Matéria-prima e Corte e Dobra. As operações posteriores permanecem praticamente sem utilização, evidenciando que o fluxo produtivo não está sendo alimentado de forma contínua. Esse cenário caracteriza um sistema com tendência à formação de gargalos nas etapas iniciais e baixo aproveitamento dos recursos localizados após essas operações.

Cenário 2 – Segunda Simulação

Após a análise do primeiro cenário, foi realizada uma alteração no layout produtivo com o objetivo de reduzir a complexidade do fluxo e melhorar o desempenho da linha. A principal mudança consistiu na incorporação das etapas Injeção 2 e Elétrica 2 às atividades executadas na Funilaria, eliminando duas operações intermediárias do processo, simplificando o fluxo produtivo para:

Chegada de matéria-prima → Corte e Dobra → Funilaria → Injeção 1 → Solda e Acabamento → Elétrica 1 → Balcões prontos

Após a mudança, os parâmetros operacionais ficaram definidos da seguinte forma na Figura 3:

Figura 3 - Preenchimento das entidades após sugestão de melhoria no software Arena.

The image shows a screenshot of the Arena simulation software interface. It displays several windows for configuring entities and processes. The 'Entities' window shows a list of entities with columns for 'Entities per Arrival', 'Max Arrivals', and 'First Creation'. The 'Process' window shows a list of processes with columns for 'Name', 'Type', 'Logic', 'Action', 'Priority', and 'Resources'. The 'Dispose' window shows a list of disposal methods with columns for 'Name', 'Type', 'Logic', 'Action', 'Priority', and 'Resources'. The 'Resources' window shows a list of resources with columns for 'Name', 'Type', 'Logic', 'Action', 'Priority', and 'Resources'. The 'Entities' window is currently active, showing a list of entities with columns for 'Entities per Arrival', 'Max Arrivals', and 'First Creation'. The 'Process' window is also visible, showing a list of processes with columns for 'Name', 'Type', 'Logic', 'Action', 'Priority', and 'Resources'. The 'Dispose' window is also visible, showing a list of disposal methods with columns for 'Name', 'Type', 'Logic', 'Action', 'Priority', and 'Resources'. The 'Resources' window is also visible, showing a list of resources with columns for 'Name', 'Type', 'Logic', 'Action', 'Priority', and 'Resources'.

Fonte: Autoria própria (2026).

Apesar das melhorias obtidas, a simulação indica que a Funilaria continua sendo a operação mais crítica do sistema. Isso ocorre porque ela concentra atividades adicionais após a integração das etapas removidas e mantém o maior tempo médio de processamento (80 minutos).

Entretanto, a disponibilidade de quatro funcionários nessa operação contribui para absorver parte da carga adicional, evitando a formação de filas excessivas e permitindo que o sistema opere de forma mais equilibrada do que no cenário anterior.

Matéria-prima: 11 unidades

Corte e Dobra: 3 unidades

Funilaria e Serralheria: 4 unidades

Injeção 1: 1 unidade

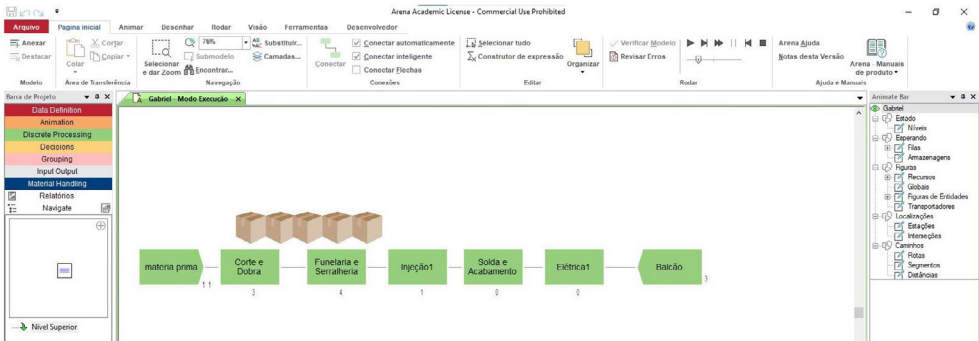
Solda e Acabamento: 0 unidades

Elétrica 1: 0 unidades

Balcões Prontos: 3 unidades

A Figura 4 mostra a nova simulação após as mudanças de sugestão:

Figura 4 - Simulação dos processos após sugestão de melhoria no software Arena.



Fonte: Autoria própria (2026).

A simulação apresenta um sistema significativamente mais equilibrado do que o cenário anterior. O fluxo produtivo está avançando pelas operações e já resultou na produção de três unidades finalizadas. Apesar disso, a etapa de Funilaria e Serralheria permanece como o principal gargalo da linha, em razão do maior tempo médio de processamento e do maior acúmulo de entidades observado. As demais etapas possuem capacidade suficiente e apresentam baixa ocupação, indicando que melhorias concentradas nessa operação tendem a gerar os maiores ganhos de produtividade, redução do lead time e aumento do rendimento do sistema.

Comparação e Interpretação dos dois Cenários

A alteração do layout produtivo proporcionou uma melhoria significativa no desempenho do sistema. A eliminação das etapas de Injeção 2 e Elétrica 2, incorporando suas atividades à Funilaria, reduziu o número de operações e simplificou o fluxo de produção. Como resultado, observou-se uma diminuição expressiva do estoque em processo nas etapas iniciais, especialmente em Corte e Dobra, onde teve uma redução de 11 para 3 unidades.

Além disso, a produção concluída aumentou de 2 para 3 unidades, representando um ganho de aproximadamente 50% no rendimento observado durante a execução da simulação. A redução do número de recursos necessários também contribuiu para uma operação mais enxuta e de menor complexidade gerencial.

Embora a Funilaria tenha passado a concentrar mais atividades e permanecido como o principal gargalo da linha, o sistema tornou-se mais equilibrado, com menor ociosidade e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis. Dessa forma, a segunda configuração demonstrou maior eficiência operacional e melhor desempenho global em relação ao cenário inicial.

A Tabela 1 mostra a comparação entre os dois cenários simulados e demonstra que a alteração do layout produtivo gerou melhorias significativas no desempenho do sistema. A principal mudança foi a incorporação das etapas de

Injeção 2 e Elétrica 2 à Funilaria, reduzindo o número total de processos de nove para sete etapas produtivas.

Tabela 1 - Comparação entre as duas simulações.

Critério de Análise	Simulação 1	Simulação 2
Número de etapas	9	7
Complexidade do Fluxo	Alta	Moderada
Possibilidade Gargalos	Alta	Moderada
Flexibilidade Operacional	Maior Especificidade	Maior Simplicidade
Lead Time Esperado	Elevado	Menor
Objetivo do Modelo	Processo Detalhado	Processo Enxuto

Fonte: Autoria própria (2026).

De maneira geral, os resultados demonstram que a mudança de layout promoveu:

- Redução das filas e dos estoques em processo;
- Simplificação do fluxo produtivo;
- Menor necessidade de recursos operacionais;
- Melhor balanceamento entre as etapas;
- Aumento da produção finalizada;
- Maior eficiência global do sistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise conjunta dos dois cenários evidencia um comportamento clássico de sistemas produtivos em série: a presença de gargalos que limitam o desempenho global e se deslocam conforme intervenções são realizadas no processo. O presente estudo demonstrou a importância da utilização da simulação computacional como ferramenta de apoio à tomada de decisão em ambientes produtivos. Por meio do software Arena, foi possível representar o funcionamento do processo produtivo da empresa, analisar o comportamento do sistema e identificar oportunidades de melhoria sem a necessidade de intervenções diretas na operação real, reduzindo custos, riscos e impactos na produção.

A primeira simulação permitiu compreender o desempenho do layout original, evidenciando a existência de acúmulos de peças nas etapas iniciais do processo, principalmente em Corte e Dobra, além da ocorrência de recursos ociosos nas operações finais. Esses resultados demonstraram um desbalanceamento da linha produtiva, limitando o fluxo de materiais e reduzindo a eficiência global do sistema.

Com base nos resultados obtidos, foi desenvolvida uma segunda simulação, na qual houve uma alteração do layout produtivo por meio da incorporação das etapas de Injeção 2 e Elétrica 2 às atividades da Funilaria. A mudança simplificou o fluxo produtivo, reduziu o número de etapas, diminuiu movimentações internas e proporcionou uma melhor distribuição das atividades. Como consequência, observou-se uma redução significativa do estoque em processo nas operações

iniciais, aumento da quantidade de produtos concluídos e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis. A comparação entre os cenários demonstrou que a segunda configuração apresentou desempenho superior, tornando o processo mais enxuto e eficiente. Apesar de a Funilaria permanecer como o principal gargalo da linha devido ao elevado tempo de processamento, a nova estrutura proporciona maior equilíbrio operacional e melhor fluidez da produção.

Para a empresa, os resultados obtidos representam uma importante fonte de informação para o planejamento de melhorias futuras. O estudo permite identificar pontos críticos do processo, avaliar alternativas de reorganização do layout e direcionar investimentos de forma mais assertiva. Além disso, a utilização do Arena possibilitou testar diferentes cenários, reduzindo incertezas e aumentando a confiabilidade das decisões gerenciais.

REFERÊNCIAS

- BANKS, Jerry *et al.* **Discrete-event system simulation**. 5. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.
- HAMMER, Michael; CHAMPY, James. **Reengenharia: revolucionando a empresa em função dos clientes, da concorrência e das grandes mudanças da gerência**. Rio de Janeiro: Campus, 1994.
- KELTON, W. David; SADOWSKI, Randall P.; ZUPICK, Nancy B. **Simulation with Arena**. 6. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- KOTLER, Philip. **Administração de marketing**. 10. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2000.
- LAW, Averill M.; KELTON, W. David. **Simulation modeling and analysis**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2007.
- OHNO, Taiichi. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- PORTER, Michael E. **Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior**. Rio de Janeiro: Campus, 1989.
- SHINGO, Shigeo. **O sistema Toyota de produção do ponto de vista da engenharia de produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2015.
- WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.