



APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS PARA OTIMIZAÇÃO DA CAPACIDADE EM UMA FÁBRICA DO RAMO DE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

ANELIZE ROSA DE OLIVEIRA CHIARINI – anelizeoliveira015@gmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI - ITAJUBÁ

JOSÉ ARNALDO BARRA MONTEVECHI – montevechi@unifei.edu.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI - ITAJUBÁ

RAFAEL DE CARVALHO MIRANDA– rafael.miranda@unifei.edu.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI - ITAJUBÁ

MONA LIZA MOURA DE OLIVEIRA – monaoli@yahoo.com.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI - ITAJUBÁ

ÁREA: 03.PESQUISA OPERACIONAL
SUBÁREA: 3.1 - MODELAGEM, SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO

RESUMO: A CRESCENTE COMPETITIVIDADE DA INDÚSTRIA GLOBAL EXIGE MAIOR EFICIÊNCIA, AGILIDADE E ADAPTAÇÃO DAS EMPRESAS. NESSE CENÁRIO, GARGALOS PRODUTIVOS E ESTOQUES INTERMEDIÁRIOS IMPACTAM NEGATIVAMENTE A RESPOSTA AO MERCADO, TORNANDO ESSENCIAL BUSCAR SOLUÇÕES QUE OTIMIZEM O DESEMPENHO OPERACIONAL. ESTE ESTUDO TEVE COMO OBJETIVO OTIMIZAR A CAPACIDADE DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS POR MEIO DA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS, VALIDADA POR FRAMEWORK ESTATÍSTICO EM CENÁRIO NÃO PARAMÉTRICO. A EMPRESA ANALISADA POSSUI DUAS ETAPAS DE MONTAGEM SEGUIDAS POR TESTES RIGOROSOS DE QUALIDADE. O GARGALO IDENTIFICADO FOI NO PROCESSO DE TESTE, DEVIDO AO DESCOMPASSO ENTRE MONTAGEM E TESTAGEM, GERANDO ACÚMULO DE ITENS, ATRASOS E QUEDA NA EFICIÊNCIA. A METODOLOGIA DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO PERMITIU ANALISAR FLUXOS E PROPOR MELHORIAS, INCLUSIVE AVALIANDO O IMPACTO DE AUMENTO DE CAPACIDADE NO POSTO CRÍTICO E SUA VIABILIDADE ECONÔMICA. A SIMULAÇÃO RESULTOU EM GANHO DE 20% NA PRODUÇÃO DIÁRIA E REDUÇÃO DOS ESTOQUES INTERMEDIÁRIOS. CONCLUI-SE QUE A SIMULAÇÃO, ALIADA AO LEAN MANUFACTURING, CONTRIBUI SIGNIFICATIVAMENTE PARA AUMENTAR A PRODUTIVIDADE, REDUZIR PRAZOS E MELHORAR A RESPOSTA AO MERCADO.

PALAVRAS-CHAVES: SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS; MODELAGEM E SIMULAÇÃO; LEAN MANUFACTURING

1. INTRODUÇÃO

Na dinâmica econômica atual, empresas do setor industrial enfrentam constantes desafios para manter sua competitividade em um mercado globalizado e em constante evolução. A empresa analisada, fabricante de equipamentos industriais na região, encontra-se diante da necessidade premente de otimizar seus processos de produção para atender às demandas crescentes do mercado (PORTER, 1980).

Nesse contexto, surge a importância de avaliar a viabilidade de aumentar a capacidade de produção da empresa. A capacidade operacional atual pode estar alcançando seus limites, resultando em gargalos que impactam negativamente a eficiência e a agilidade da produção. Identificar esses gargalos e propor soluções eficazes torna-se crucial para assegurar a competitividade e a sustentabilidade do negócio no longo prazo.

Para abordar essa questão de forma abrangente e detalhada, este trabalho propõe a utilização do software de simulação FlexSIM® para modelar a linha de produção da empresa analisada. A simulação permite uma análise minuciosa do fluxo de trabalho, identificando possíveis pontos de atenção e avaliando o impacto de um aumento de capacidade em um posto de trabalho específico (BANKS *et al.*, 2009).

Portanto, o objetivo deste trabalho é aplicar otimização da capacidade, através da simulação a eventos discretos, em uma linha de produção validada pelo framework estatístico de Leal *et al.* (2011), em um cenário de teste não paramétrico. O modelo proposto será apresentado para a gerência da linha de produção para análise e posterior tomada de decisão em relação à implementação ou não da proposta.

Ao longo dos anos, muitas empresas têm utilizado a simulação como um auxílio em seu processo de tomada de decisão. A simulação tem sido uma ferramenta muito poderosa para desenhar e analisar sistemas de manufatura (LAW, KELTON, 2015).

Além disso, este estudo busca integrar princípios fundamentais da filosofia Lean, especialmente o Sistema Toyota de Produção, no contexto da análise da linha de produção. A redução de lead times, a eliminação de desperdícios e a otimização do fluxo de valor serão considerações essenciais para garantir uma operação eficiente e enxuta.

Um dos desafios enfrentados pela empresa é a gestão das filas no ambiente fabril. Filas excessivas podem resultar em atrasos na produção, aumentando os prazos de entrega e comprometendo a capacidade de resposta aos clientes. Portanto, este estudo também aborda estratégias para a gestão eficaz das filas, visando maximizar a utilização dos recursos e minimizar os tempos de espera.

Ao final, os resultados obtidos por meio da simulação e análise detalhada serão fundamentais para a tomada de decisão estratégica da empresa analisada. É possível propor medidas concretas para otimizar a capacidade de produção, reduzir os prazos de entrega e melhorar a eficiência operacional. Espera-se que este estudo não apenas beneficie a empresa analisada, mas também contribua para o avanço do conhecimento na área de gestão da produção industrial.

Para abordar esses objetivos e responder à hipótese formulada, foi considerado os seguintes objetivos específicos:

- Construir um modelo de simulação condizente com a realidade atual;
- Identificar os gargalos específicos na linha de produção;
- Avaliar o impacto do aumento da capacidade no posto de trabalho inicialmente definido como ponto de atenção;
- Realizar um levantamento de viabilidade econômica do investimento X retorno com a decisão de aumento de capacidade.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Gestão de Sistemas de Produção

A Gestão de Sistemas de Produção é um componente vital para garantir o sucesso operacional das organizações industriais. Este campo envolve a coordenação estratégica de recursos humanos, materiais e tecnológicos, com o objetivo principal de alcançar eficiência nos processos produtivos. De acordo com Slack et al. (2018), a gestão de sistemas de produção não apenas visa maximizar a produtividade e a qualidade dos produtos, mas também busca otimizar custos e tempo.

No âmbito das estratégias de planejamento e controle, a Gestão de Sistemas de Produção utiliza abordagens como o planejamento agregado e a programação detalhada para gerenciar a capacidade produtiva de maneira eficiente. Conforme ressaltado por Slack et al. (2018), o planejamento agregado permite ajustar a capacidade produtiva de longo prazo às flutuações da demanda do mercado, enquanto a programação detalhada visa garantir a utilização otimizada dos recursos no curto prazo, minimizando custos operacionais e aprimorando a eficiência dos processos produtivos.

A introdução e adoção de tecnologias avançadas desempenham um papel crucial na evolução dos sistemas de produção. Hayes e Pisano (1994) discutem como inovações tecnológicas, como automação, robótica e sistemas integrados de informação, não apenas

melhoram a eficiência dos processos produtivos, mas também capacitam as empresas a responder rapidamente às mudanças no mercado e às exigências dos clientes de forma mais ágil e eficaz.

A busca incessante pela excelência na qualidade é um princípio fundamental na Gestão de Sistemas de Produção. Deming (1986) argumenta que a gestão da qualidade total vai além do controle de defeitos; ela implica numa cultura organizacional voltada para a melhoria contínua. A implementação de práticas como o ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) permite identificar oportunidades de aprimoramento e promover uma cultura de responsabilidade e comprometimento com a qualidade em todos os níveis da organização.

Com a crescente conscientização ambiental e o reconhecimento do papel das empresas na sociedade, práticas sustentáveis e responsabilidade social corporativa tornaram-se imperativos na Gestão de Sistemas de Produção. CARTER e ROGERS (2008) destacam iniciativas como a redução de emissões de carbono, o uso eficiente de recursos naturais e o respeito aos direitos humanos não apenas mitigam impactos adversos ao meio ambiente, mas também fortalecem a reputação da empresa e aumentam a lealdade dos clientes e stakeholders.

Assim, a Gestão de Sistemas de Produção não só é essencial para a competitividade das organizações industriais, mas também desempenha um papel crucial na sustentabilidade, inovação e responsabilidade social das empresas, garantindo um desenvolvimento contínuo e uma posição de liderança no mercado global. (HEIZER; RENDER, 2017).

Dessa forma, a eficiência produtiva não depende apenas de tecnologia ou controle, mas da existência de sistemas de gestão integrados, capazes de alinhar rotinas operacionais diárias às metas estratégicas da organização. Estudos recentes apontam que a combinação entre gestão de curto prazo (como programação da produção e controle de recursos) e diretrizes de longo prazo (como padronização, análise de desempenho e melhoria contínua) favorece o equilíbrio entre flexibilidade e produtividade em ambientes industriais dinâmicos (MINH, 2023).

2.2 Simulação a Eventos Discretos

Por mais de 40 anos, a Simulação de Eventos Discretos (SED) tem sido a principal via da comunidade científica que realiza trabalhos de simulação dentro da Pesquisa Operacional (SIEBERS et al, 2010). A SED auxilia na análise de dados para descobrir inferências de

medidas de performance para os sistemas analisados (HUERTA-TORRUCO et al., 2022).

Um modelo de SED também consiste em um grupo de entidades que se comunicam com outras em um ambiente. Porém, o ambiente em que o modelo de SED está inserido sempre contém um tipo de sistema baseado em processos, no qual as entidades formam filas para realizarem serviços (BRAILSFORD, 2014).

A partir da Simulação de Eventos Discretos, incertezas estocásticas podem ser confrontadas para obter o entendimento de um processo que está presente no sistema (MACAL; NORTH, 2005). Dessa forma, segundo Siebers et al. (2010), a utilização da Simulação a Eventos Discretos em problemas que abrangem simulações de filas ou redes de filas complexas é oportuna. Nesses tipos de problemas, por meio de distribuições estocásticas, os processos podem ser bem definidos e suas imprecisões, retratadas.

A SED é baseada no conceito de sistemas de filas, nos quais as entidades concorrem por recursos. Na SED, decisões de rota — como quais filas entrar quando houver uma escolha — podem ser implementadas de diversas maneiras, retratando o estado do sistema, bem como as características individuais da entidade (BRAILSFORD, 2014).

De acordo com Huerta-Torruco et al. (2022), os principais passos para construção de projetos de SED são:

1. Definição do problema;
2. Modelo conceitual;
3. Desenvolvimento do projeto computacional;
4. Experimentação;
5. Análise dos resultados.

Além disso, a SED é amplamente utilizada para melhorias em campos como produção, saúde, logística e transportes.

Para Urbani et al. (2020), os princípios da Simulação a Eventos Discretos são simples de entender: a cada mudança nos estados de um sistema, o simulador também aplica as mudanças. A SED pode ser utilizada para atingir diversos objetivos, como: otimização da capacidade interoperacional que minimize os custos de inatividade, otimização da disponibilidade de peças e otimização dos intervalos de manutenção.

3.3 MÉTODO DE PESQUISA

É fundamental estabelecer claramente o tipo de pesquisa a ser conduzida, pois isso

proporciona uma orientação precisa ao pesquisador na escolha dos instrumentos e procedimentos metodológicos necessários para alcançar os objetivos do estudo.

3.1 Classificação do estudo

A metodologia deste trabalho segue uma abordagem quantitativa, de natureza aplicada, com o objetivo de propor melhorias para a gestão da capacidade produtiva e dos estoques intermediários de uma empresa fabricante de equipamentos industriais. O estudo utiliza técnicas de modelagem e simulação para avaliar o impacto do aumento da capacidade de um posto de trabalho específico e otimizar a gestão de estoques intermediários. A seguir, são detalhadas as etapas do processo metodológico adotado.

A pesquisa utiliza dados de duas naturezas distintas: dados primários, obtidos diretamente do objeto de estudo, como as observações sistemáticas e medições realizadas na linha de teste, e dados secundários, provenientes de registros históricos armazenados no banco de dados da empresa, que fornecem informações sobre os tempos de ciclo, taxas de falha e fluxos de produção anteriores. Ambos os tipos de dados são essenciais para a modelagem precisa do sistema.

A validade e a confiabilidade dos dados coletados foram asseguradas por meio de um processo rigoroso de verificação, com os colaboradores da empresa. Isso envolveu a análise crítica da qualidade, autenticidade e relevância dos dados, garantindo que as informações usadas na modelagem fossem representativas e precisas.

A pesquisa tem uma natureza aplicada, pois busca fornecer soluções práticas para melhorar a eficiência de processos reais em um contexto específico, conforme abordado por Turrioni e Mello (2012). O estudo é descritivo, no sentido de que visa caracterizar e analisar as particularidades do processo de produção e identificar suas principais falhas. Quanto à abordagem do problema, a pesquisa é quantitativa, pois os dados coletados ao longo de seis meses permitem a modelagem e análise matemática do sistema. O estudo utiliza o método de modelagem e Simulação a Eventos Discretos (SED) para representar e analisar o sistema de produção.





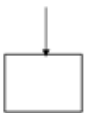








3.2 Método de pesquisa

No conjunto das áreas de estudo da Engenharia de Produção, há a Pesquisa Operacional. Por sua vez, dentro desta, encontra-se a Modelagem, Simulação e Otimização

que engloba estudos embasados em construções de modelos para representar sistemas reais. Estes modelos são, em sua maioria, quantitativos e buscam apresentar as principais particularidades de um sistema real (BERTRAND; FRANSOO, 2002) e (CHWIF; MEDINA, 2015). Segundo Chung (2004), modelagem é o processo de criar e experimentar sistemas físicos por meio de modelos matemáticos auxiliados por computador. Um sistema pode ser definido como um conjunto de componentes ou processos interativos que recebem entradas e fornecem saídas para um propósito específico. Para Urbani et al. (2020), modelos baseados em simulação têm se mostrado muito eficientes, apresentando bons resultados em vários tipos de indústrias.

Uma abordagem, segundo Montevechi et al. (2010), para elaboração de modelos de Simulação a Eventos Discretos é dividida em três fases que são (1) Concepção, (2) Implementação e (3) Análise. A primeira, Concepção, engloba o modelo conceitual que guia a coleta de dados, bem como a elaboração rápida do modelo processual através de modelo computadorizado. Após a implementação do modelo construído computacionalmente, a Análise envolve elementos matemáticos e estatísticos. A fase de Concepção é a que possui maior dispêndio de tempo, pelos modeladores. Vários tipos de modelos conceituais são utilizados, porém, o IDEF-SIM, idealizado por Montevechi et al. (2010) é a utilizada neste trabalho para representação do processo de SED, o qual facilita ao modelo conceitual ser construído de uma maneira lógica, para ser usado na fase de modelagem computacional. De acordo com Montevechi et al. (2010), a técnica do IDEF-SIM é uma junção das técnicas IDEF0, IDEF3 e fluxograma. A simbologia e explicações, estão descritas na figura 1.

FIGURA 1 – Elementos e Símbolos usados na Técnica IDEF-SIM

| Elementos | Simbologia | Significado |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Entidade |  | Itens processados no sistema. |
| Funções |  | Locais onde a Entidade agirá. |
| Fluxo da Entidade |  | Direção da entidade no modelo. |
| Recursos |  | Elementos usados para movimentar entidades e executar funções. |
| Controles |  | Regras usadas nas funções. |
| Regras para Fluxos Paralelos e/Alternativos |    | 2 ou mais funções são executadas em conjunto ou separadas (ou permitindo ambas as regras). |
| Movimentação |  | Deslocamento da entidade. |
| Informação explanatória |  | Para inserir explicações ao modelo. |
| Entrada no fluxo do sistema modelado |  | Define a entrada ou criação de entidades no modelo. |
| Fim do sistema |  | Fim de um caminho ou do fluxo total. |
| Conceção com outra figura |  | Usada para dividir o modelo em figuras diferentes |

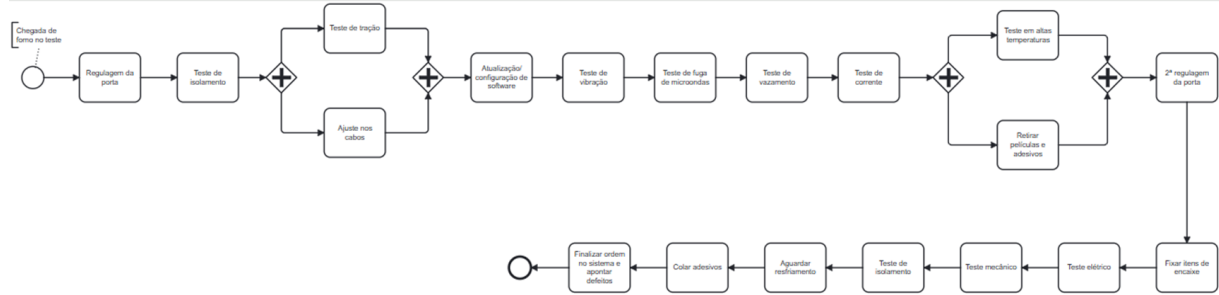
Fonte: Adaptado de Montevechi *et al.* (2010)

3.2.1 FASE DE CONCEPÇÃO

Na fase de concepção, o primeiro passo foi entender e mapear o processo produtivo da empresa. Foram feitas observações diretas na linha de teste, entrevistas com operadores e análise dos dados históricos fornecidos pela empresa. Com base nessas informações, foi possível identificar os principais fluxos de trabalho e os pontos críticos que poderiam afetar a eficiência da produção, como o desbalanceamento entre as capacidades da linha de teste.

A modelagem conceitual do processo foi realizada utilizando o mapeamento IDEF-SIM demonstrado da figura 2, que descreve as operações da linha e os fluxos de materiais e informações. Além disso, os dados de entrada para o modelo de simulação foram definidos utilizando a ferramenta ExpertFit®, que ajusta distribuições de probabilidade para representar os tempos de ciclo e as variabilidades observadas.

FIGURA 2 – Modelo conceitual de SED



Fonte: Própria, autor.

3.2.2 FASE DE IMPLEMENTAÇÃO

Na fase de modelagem, o processo de produção foi implementado no software FlexSim®, que permite construir representações gráficas e lógicas do sistema real para representar as etapas de montagem, teste e fluxos intermediários. A Figura 3 demonstra o layout do processo simulado, com a representação gráfica das operações e dos recursos envolvidos.

FIGURA 3 – Linha de produção simulada no software FlexSim®.



Fonte: Fonte: Própria, autor.

Cada etapa da linha de produção, desde a montagem até o teste final dos

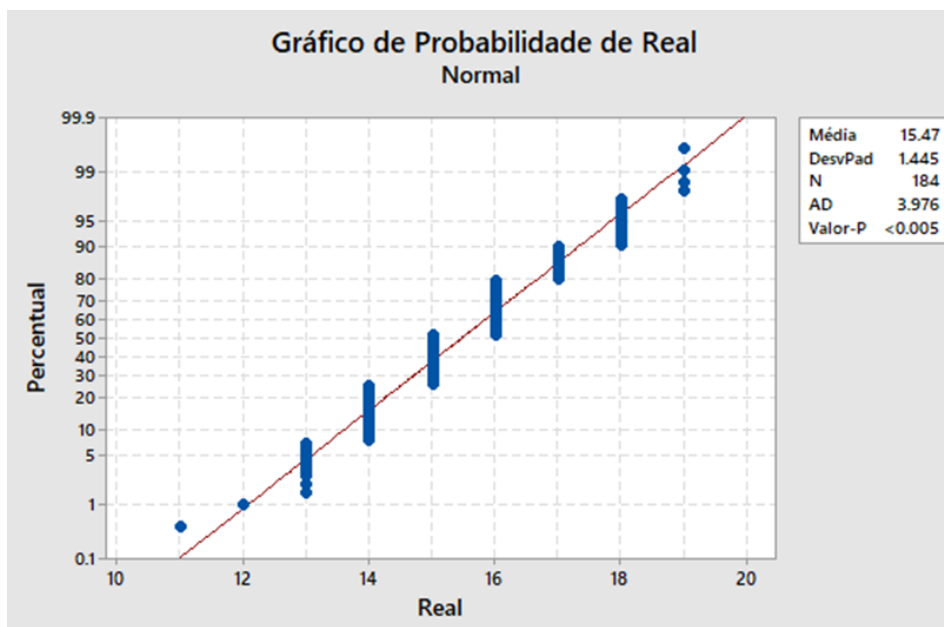
equipamentos, foi representada como um bloco de processo no modelo. As variáveis de entrada, como tempos de ciclo, taxas de falha e capacidade dos recursos, foram inseridas no modelo com base nos dados coletados.

A modelagem considerou também a variabilidade dos processos, como a diferença nos tempos de montagem de diferentes tipos de equipamentos e as falhas que ocorrem durante o teste. O modelo foi ajustado para refletir fielmente o sistema real, de modo que os resultados das simulações pudessem ser usados para identificar gargalos e sugerir melhorias.

Seguindo o framework proposto por Leal et al. (2009), considerando a continuidade dos dados por meio de mais de 30 amostras, determinou-se que a distribuição é contínua. Para a validação do modelo, foram testados os tempos coletados por meio da cronoanálise, que representam as etapas do processo produtivo. Como os dados não apresentaram normalidade, procedeu-se com a validação utilizando testes não paramétricos.

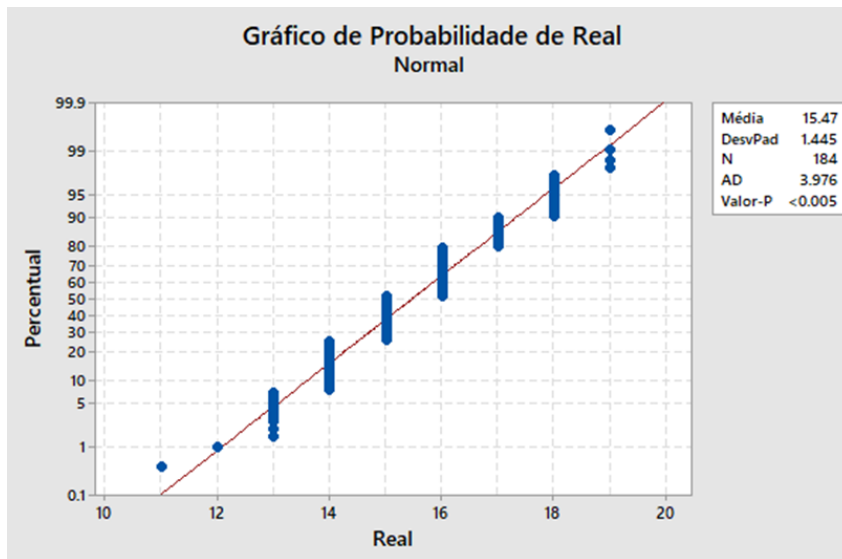
Assim, a análise de probabilidade foi realizada para verificar a distribuição dos dados reais e simulados. Como ilustrado na figura 4 e na figura 5, ambos os conjuntos de dados apresentam desvios significativos em relação à normalidade, justificando o uso de testes estatísticos não paramétricos para validação do modelo.

FIGURA 4 – Gráfico de probabilidade dos dados reais da Linha de Produção.



Fonte: Própria, autor.

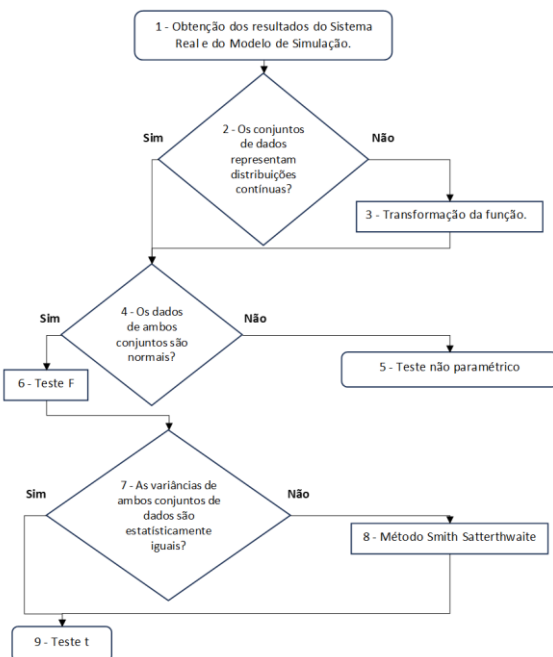
FIGURA 5 – Gráfico de probabilidade dos dados simulados da Linha de Produção.



Fonte: Própria, autor.

O modelo de simulação foi validado seguindo o framework ilustrado na figura 6, que descreve as principais etapas do processo de validação em estudos de simulação. Conforme apresentado na figura 6, as etapas envolvem desde a coleta de dados até a comparação com os valores reais.

FIGURA 6 – Fluxograma traduzido do framework da validação de modelos de simulação.



Fonte: Adaptado de Leal et al. (2011).

Foi identificado que o valor-p encontrado é maior que 0,05, indicando que não há diferença estatisticamente significativa entre os dados simulados e os dados reais. Assim, o modelo foi validado estatisticamente, mostrando que representa adequadamente o sistema real. Essa validação é fundamental para assegurar a confiabilidade dos resultados subsequentes.

Com base na análise inicial, foi aplicado o teste não paramétrico para a Linha 1. Os resultados obtidos, apresentados na figura 7, indicam que o valor de p encontrado é maior que 0,05, validando o modelo simulado para essa linha de produção.

FIGURA 7 – Resultados do teste não paramétrico para a Linha 1.

↳ Mann-Whitney: Real; Simulado

Método

η_1 : mediana de Real
 η_2 : mediana de Simulado
Diferença: $\eta_1 - \eta_2$

Estatísticas Descritivas

| Amostra | N | Mediana |
|----------|-----|---------|
| Real | 184 | 15 |
| Simulado | 184 | 16 |

Estimativa da diferença

| Diferença | IC para a diferença | Confiança Atingida |
|------------|---------------------|--------------------|
| -0.0000000 | (-1; 0.0000000) | 95.01% |

Teste

Hipótese nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$
Hipótese alternativa $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

| Método | Valor W | Valor-p |
|---------------------------|----------|---------|
| Não ajustado para empates | 32317.00 | 0.110 |
| Ajustado para empates | 32317.00 | 0.106 |

Fonte: Própria, autor.

De forma semelhante, o teste não paramétrico foi realizado para a Linha 2. A figura 8 apresenta os resultados obtidos, reforçando que não há diferenças significativas entre os dados reais e simulados.

FIGURA 8 – Resultados do teste não paramétrico para a Linha 2.

↳ Mann-Whitney: Real; Simulado1

Método

η_1 : mediana de Real
 η_2 : mediana de Simulado1
 Diferença: $\eta_1 - \eta_2$

Estatísticas Descritivas

| Amostra | N | Mediana |
|-----------|-----|---------|
| Real | 367 | 11 |
| Simulado1 | 367 | 11 |

Estimativa da diferença

| Diferença | IC para a diferença | Confiança Atingida |
|------------|------------------------|--------------------|
| -0.0000000 | (0.0000000; 0.0000000) | 95.00% |

Teste

Hipótese nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$
 Hipótese alternativa $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

| Método | Valor W | Valor-p |
|---------------------------|-----------|---------|
| Não ajustado para empates | 134727.50 | 0.960 |
| Ajustado para empates | 134727.50 | 0.960 |

Fonte: Própria, autor.

3.2.2 FASE DE ANÁLISE

Os resultados obtidos por meio da simulação indicam que a adição de um novo posto de trabalho nas etapas de teste 1 e teste 2 proporciona um aumento significativo na capacidade produtiva. Antes da implementação, a produção diária era limitada a 12 equipamentos na linha 1 e 10 equipamentos na linha 2, devido aos gargalos identificados nas etapas de teste. Com a inclusão de um novo posto de trabalho em cada etapa de teste, foi possível alcançar um fluxo de produção de 14 equipamentos na linha 1 e 12 equipamentos na linha 2, reduzindo filas e otimizando a produtividade.

Com base na análise dos gargalos, a adição de um novo posto de trabalho foi simulada para otimizar o fluxo de produção. A Figura 9 apresenta o cenário pós-ajuste, evidenciando como essa alteração aumentou a capacidade produtiva e reduziu filas na etapa de teste.

FIGURA 9 - Configuração da linha de produção após a adição de um posto de trabalho no FlexSim®.



Fonte: Própria, autor.

A simulação dos custos associados à implementação das novas posições de trabalho indicou um investimento inicial de R\$ 3.000,00 por posto e um custo operacional adicional de R\$ 3.000,00 mensais por operador. Considerando o valor de venda dos produtos de R\$ 18.000,00 para o forno de maior tempo de produção e R\$ 16.000,00 para o forno de menor tempo de produção. O aumento na produção diária proporcionou um ganho financeiro significativo para a empresa, com retorno do investimento estimado em menos de três meses.

A justificativa para a adição de um novo posto de trabalho em cada etapa de teste é a capacidade de equilibrar o fluxo produtivo, eliminando gargalos e aumentando a eficiência geral do sistema. Essa mudança não atende apenas à demanda crescente, mas também reduz os impactos causados por atrasos nas entregas e filas nos estoques intermediários.

A simulação das duas linhas de produção demonstrou um ganho na produção diária total de 20%, com redução das filas e maior eficiência no fluxo de produtos. Além disso, foi possível identificar gargalos críticos, especialmente na etapa de teste, e propor melhorias na capacidade para minimizar estoques intermediários e aumentar a produtividade.

Em contextos produtivos marcados por incertezas e variabilidade, a utilização de métodos estatísticos tradicionais, que assumem distribuições conhecidas e bem comportadas, pode comprometer a precisão na definição dos níveis de estoque. Estudos recentes apontam que abordagens não paramétricas oferecem alternativas mais robustas, pois não exigem premissas rígidas sobre o comportamento da demanda e do tempo de reposição. Saldanha, Price e Thomas (2023) reforçam a relevância dessas técnicas ao demonstrar que estimativas baseadas em dados empíricos geram resultados mais confiáveis para a tomada de decisão em ambientes produtivos complexos.

A análise confirma que a abordagem não paramétrica é uma alternativa robusta para dados que não seguem uma distribuição normal. Além disso, as melhorias sugeridas para o processo são consistentes com os objetivos iniciais, refletindo na redução de desperdício e no aumento de eficiência.

3.CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a aplicação da modelagem e simulação em um ambiente produtivo industrial com o auxílio do software FlexSIM® para analisar gargalos, ociosidades e propor melhorias no processo produtivo. Por meio da validação estatística, utilizando o framework de Leal et al. (2009), foi possível verificar que os dados simulados representaram

de forma adequada os dados reais, mesmo em um cenário de distribuição que não se apresenta normal.

A análise dos resultados permitiu identificar pontos críticos no fluxo produtivo, como o gargalo na etapa de teste, e propor um aumento na capacidade dessa fase para eliminar filas e reduzir estoques intermediários. As melhorias implementadas resultaram em um aumento de 20% na produção diária total das linhas, além de maior eficiência no uso dos recursos produtivos, com menor desperdício e ociosidade.

Como contribuição teórica, o trabalho reforça a importância de abordagens não paramétricas em estudos que lidam com dados não normais, um tema ainda pouco explorado na literatura. Na prática, os resultados destacam como a simulação pode ser utilizada como ferramenta estratégica para aumentar a produtividade e melhorar a tomada de decisões em ambientes industriais.

Por fim, recomenda-se que estudos futuros aprofundem a análise de tempos de processo em outras etapas e realizem uma avaliação econômica detalhada para mensurar o retorno dos investimentos propostos. Assim, este trabalho contribui não apenas para a melhoria da operação analisada, mas também para o avanço metodológico no uso de simulação para resolução de problemas industriais.

4. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq, CAPES, FAPESP e FAPEMIG, bem como à empresa objeto deste estudo, pelo apoio a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

PORTER, M. E. **Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors**. New York: Free Press, 1980.

BANKS, J., et al. **Discrete-Event System Simulation**. 5. ed. Pearson, 2009.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling and Analysis**. 5. ed. McGraw-Hill, 2015.

SLACK, N., et al. **Administração da Produção**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

SIEBERS, P. O.; MACAL, C. M.; GARNETT, J.; BUXTON, D.; PIDD, M. Discrete-event simulation is dead, long live agent-based simulation! **Journal of Simulation**, v.4, n.3, pp.204-210, 2010.

HUERTA-TORRUCO, V. A.; HERNANDÉZ-URIBE, O.; CÁRDENLAS-ROBLEDO, L. A.; RODRÍGUEZ-OLIVARES, N. A. Effectiveness of Virtual Reality In Discrete Event Simulation Models for Manufacturing Systems. **Computers & Industrial Engineering**, 2022.

MINH, N. D. Toyota's production efficiency improvement management: best practice for productivity evaluation and operation improvement. **Journal of Advances in Management Research**, [S.l.], v. 20, n. 3, p. 366–385, 2023. Emerald Publishing Limited. DOI: 10.1108/JAMR-02-2022-0042. ISSN 2049-3207.

HEIZER, Jay; RENDER, Barry. *Operations Management*. 12. ed. Pearson, 2017.

HAYES, R. H.; PISANO, G. P. Beyond world-class: the new manufacturing strategy. **Harvard Business Review**, v. 72, n. 1, p. 77-86, 1994.

DEMING, W. E. **Out of the Crisis**. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study, 1986.

CARTER, C. R.; ROGERS, D. S. A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 38, n. 5, p. 360-387, 2008.

SALDANHA, J. P.; PRICE, B. S.; THOMAS, D. J. **A nonparametric approach for setting safety stock levels**. **Production and Operations Management**, v. 32, n. 4, p. 1150–1168, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/poms.13918>.

BRAILSFORD, Sally. Discrete-event simulation is alive and kicking!. In: **Agent-Based Modeling and Simulation**. Palgrave Macmillan, London, 2014. p. 291-306.

MACAL, C. M.; NORTH, M. J. Tutorial on Agent-Based Modeling and Simulation. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings**, 2005.

URBANI, M.; BRUNELLI, M.; COLLAN, M. A. Comparison of Maintenance Policies for Multi-Component Systems Through Discrete Event Simulation of Faults. **IEEE Access**, 2020.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas**. Itajubá: UNIFEI, 2012.

BERTRAND, J. Will M.; FRANSOO, Jan C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, 2002.

MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F.; COSTA, R. F. S.; OLIVEIRA, M. L. M.; SILVA, A. L. F. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. In: Proceedings of the Winter Simulation Conference, Baltimore, USA, 2010.

Leal, F., Costa, R. F. da S., Montevechi, J. A. B., Almeida, D. A. de, & Marins, F. A. S. (2011). A practical guide for operational validation of discrete simulation models. *Pesquisa Operacional*, 31(1), 57-77.