



Campus São Mateus
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO



APLICAÇÃO DO SOFTWARE PLANT SIMULATION COMO FERRAMENTA DE MELHORIA DE PROCESSOS EM LINHA DE RÁDIOS AUTOMOTIVO

APPLICATION OF PLANT SIMULATION SOFTWARE AS A PROCESS IMPROVEMENT TOOL IN AUTOMOTIVE RADIO LINE

APLICACIÓN DEL SOFTWARE PLANT SIMULATION COMO HERRAMIENTA DE MEJORA DE PROCESOS EN LÍNEA DE RADIO AUTOMOCIÓN

Tatiane Pinto dos Santos ^{1*}, Armando Araújo de Souza Junior ², & Carlos Américo de Souza Silva ³

^{1,2} Universidade Federal do Amazonas (UFAM) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

² Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – Florianópolis, Santa Catarina

¹p.santonstatiane@gmail.com ²armandoaraujo@ufam.edu.br ^{3*}carlos.americo@gmail.com

ARTIGO INFO.

Recebido: 26.02.2024

Aprovado: 23.03.2024

Disponibilizado: 15.04.2024

PALAVRAS-CHAVE: Simulação Computacional; WIP; JIT.

KEYWORDS: Computer Simulation; WIP; JIT.

PALABRAS CLAVE: Simulación por Ordenador; WIP; JIT.

*Autor Correspondente: Santos, T. P., dos.

RESUMO

As empresas necessitam aprimorar seus processos para atender às demandas dos consumidores. Diante disso, a simulação computacional é uma ferramenta poderosa para a implementação de melhorias no processo, pois consiste na representação virtual de um sistema em diferentes cenários, auxiliando na tomada de decisões. Assim, neste estudo, foi empregado o programa de simulação *Plant Simulation* para determinar o tamanho ideal das WIPs de uma linha de montagem de rádios automotivos no distrito industrial de Manaus, levando em conta o princípio do *Just In Time (JIT)* de produzir somente o necessário. A simulação computacional foi realizada com os dados reais do processo de montagem, em que estes dados foram obtidos através da cronoanálise das estações de trabalho da linha de montagem e através da metodologia de *Yamazumi* para identificar as principais perdas do processo. Após o dimensionamento dos WIP's por meio do *software de simulação*, foi feita a implementação na linha de montagem. Os resultados foram positivos, pois ocorreu a diminuição da ociosidade das máquinas do processo e, conseqüentemente, o aumento de 6% da capacidade produtiva da linha.

ABSTRACT

Companies should improve their processes to meet consumer demands. Computer simulation is a powerful tool for implementing process improvements, as it provides a virtual representation of a system in different scenarios, aiding decision-making. The study utilized the *Plant Simulation* program to determine the optimal size of WIPs on an automotive radio assembly line in the Manaus industrial district, considering the *Just in Time (JIT)* principle of producing only what is necessary. Real data was used to simulate the process, obtained through *chrono-analysis* of the assembly line workstations and *Yamazumi* methodology to identify the main losses. After dimensioning the WIPs using the software, they were implemented on the assembly line. The results were positive, including a reduction in machine idleness and a 6% increase in the line's production capacity.

RESUMEN

Las empresas necesitan mejorar sus procesos para satisfacer las demandas de los consumidores. En este sentido, la simulación por ordenador es una herramienta poderosa para implementar mejoras en los procesos, ya que es una representación virtual de un sistema en diferentes escenarios, lo que ayuda a la toma de decisiones. En este estudio, se utilizó el programa *Plant Simulation* para determinar el tamaño ideal de los WIPs en una línea de montaje de radios para automóviles en el distrito industrial de Manaus, teniendo en cuenta el principio *Just In Time (JIT)* de producir sólo lo necesario. El proceso se simuló utilizando datos reales del proceso, obtenidos mediante *cronoanálisis* de los puestos de trabajo de la línea de montaje y utilizando la metodología *Yamazumi* para identificar las principales pérdidas del proceso. Una vez dimensionados los WIP con el software, se implantaron en la cadena de montaje. Los resultados fueron positivos, como la reducción de la inactividad de las máquinas del proceso y, en consecuencia, un aumento del 6% de la capacidad de producción de la línea.

1. INTRODUÇÃO

A competição crescente na indústria exige que as empresas alterem seus processos para satisfazer as necessidades dos clientes (Aichouni et al., 2021). A utilização de ferramentas de melhoria é crucial para aumentar o desempenho, eficácia e reduzir falhas (Ferreira et al., 2020; Carvalho, 2023). Os programas de simulação computacional são uma das diversas opções disponíveis para aprimoramento de processos industriais.

O processo de simulação computacional é uma ferramenta poderosa que pode ser usada para melhorar os processos produtivos, pois consiste na representação virtual de um sistema ou ambiente físico, permitindo que sejam percebidos com mais clareza os problemas do processo, a capacidade produtiva da linha, entre outros fatores relevantes do setor produtivo (Ferreira et al., 2020). Além disso, é possível testar diferentes cenários sem alterar o ambiente físico, o que resulta em uma tomada de decisões mais rápida, com menor custo e risco de implementação das alterações propostas (Oliveira & Bertolucci, 2021; Martins, 2022).

Em estudos anteriores, foram relatadas aplicações da simulação computacional para aprimorar processos de manufatura, tal qual é a pesquisa de Banga et al. (2020), que aborda a utilização de um *software* de simulação computacional para propor diferentes soluções com o objetivo de diminuir o tempo de ciclo e aumentar a capacidade produtiva de um processo industrial. Em (Lang et al., 2021), são apresentados três tipos de *softwares* gratuitos de simulação de eventos discretos, com a finalidade de avaliar a eficiência da ferramenta para solucionar problemas de produção e problemas logísticos. Além destes, existem muitos estudos que abordam a utilização de *softwares* de simulação computacional para auxiliar na otimização de processos (Gonçalves et al., 2020; Gupta et al., 2021; Sánchez et al., 2021).

No entanto, ao simular um ambiente industrial, é importante levar em conta os principais conceitos que estão ligados a um projeto de melhoria e as ferramentas usadas por uma organização, como por exemplo, os conceitos do sistema de produção Just in Time (JIT) (Machado & Ribeiro, 2020; Siddiqui, 2022), que é o conceito adotado pela empresa de autorrádios em estudo.

Neste contexto, o sistema de produção *JIT* é composto por diversas técnicas gerenciais que têm como objetivo a visibilidade e padronização de processos e operações. Além disso, seu principal conceito é a produção sem desperdícios, ou seja, produzir somente o necessário e no momento certo, evitando assim a superprodução e o excesso de estoques de produto acabado e o excesso de *Work in Process (WIP)* (Nogueira, 2021; Abraão Junior, 2022).

Desta forma, o propósito desta pesquisa consistiu em simular por meio do *software Plant Simulation* a linha de montagem de rádios automotivos, com o intuito de determinar e limitar o tamanho ideal das *WIPs* necessárias para atender à demanda sem causar superprodução, ou seja, produzir somente o necessário.

Partindo deste princípio, na linha de montagem analisada verificou-se a necessidade de um buffer ou *WIP* entre as operações de montagem e as estações de teste funcional dos produtos. No entanto, devido ao princípio do *JIT*, foi necessário estabelecer uma quantidade mínima de peças em *WIP*, a fim de evitar a superprodução e permitir que o gargalo trabalhe em sua máxima capacidade produtiva. Dessa forma, a questão que norteou esta pesquisa foi: Como determinar o tamanho ideal dos *WIPs* de uma linha de montagem?

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 JUST IN TIME (JIT)

O *Just In Time* foi criado no Japão pela *Toyota Motor Company* com o objetivo de eliminar os desperdícios relacionados aos estoques de materiais, uma vez que interferem negativamente no atendimento à demanda por conta da dificuldade em manter os elevados níveis de estoque no espaço físico durante o pós-guerra e a empresa não dispunha de espaço físico suficiente durante o pós-guerra, ou seja, teve dificuldades para manter os elevados níveis de estoque (Machado, 2020).

Diante disso, o *JIT* é uma filosofia muito utilizada dentro das estratégias de gerenciamento de estoques, porque um dos seus princípios é a eliminação do estoque excedente, ou seja, o foco do gerenciamento de estoques do tipo *JIT* é a redução da quantidade e melhoria da qualidade do estoque, com o objetivo de atingir o status de estoque zero, de forma a reduzir o custo de gestão destes estoques (Ribeiro, 2020; Xu, 2021; Siddiqui, 2022).

O *JIT* tem como princípio fundamental produzir apenas o necessário, de acordo com a demanda ou quando solicitado, com a qualidade especificada, sem desperdício de recursos ao longo da cadeia produtiva, de forma a diminuir o estoque ou o inventário e atender à demanda dentro do prazo estabelecido pelos clientes (Ikari et al., 2020; Siddiqui, 2022). A implementação do *JIT* tem como foco a eliminação dos desperdícios, de forma a obter o menor custo possível, o menor tempo de produção e o menor *lead time* (Machado, 2020; Nogueira & Silva, 2021).

Neste contexto, o *Working in Process (WIP)* é considerado um desperdício que deve ser reduzido ou removido, uma vez que ele aumenta o tempo de espera e descaracteriza o lote de produção. Ou seja, em um sistema de fabricação *JIT* ideal, é produzido e entregue apenas o necessário de cada componente na sequência de montagem para a operação posterior, exatamente quando esse componente é necessário. Isso resulta em uma redução do tempo de espera dos produtos em *WIP*, da quantidade de espaço e custos investidos em *WIP* (Afriansyah & Mohruni, 2021; Abraão Junior, 2022).

2.2 CRONOANÁLISE E GRÁFICO DE YAMAZUMI

A cronoanálise de processos e o gráfico *Yamazumi* são ferramentas fundamentais no campo da gestão da produção e da otimização de processos. Ambos são utilizados para analisar e melhorar a eficiência e a produtividade em ambientes de fabricação, particularmente em linhas de montagem (Oliveira et al., 2020).

A cronoanálise é uma técnica que visa estudar e entender o tempo necessário para a execução de cada etapa de um processo de produção, em que o seu objetivo é identificar e eliminar desperdícios de tempo, tornando o processo mais eficiente e produtivo, e essa análise geralmente envolve a observação direta dos trabalhadores durante a execução das tarefas, o uso de cronômetros e o registro detalhado do tempo gasto em cada atividade (Caldeira et al., 2020).

O gráfico *Yamazumi* é uma representação visual detalhada dos tempos de ciclo em um processo específico, frequentemente usado para melhorar a eficiência de um processo, além disso, ele categoriza as atividades do processo em valor agregado (VA), não agregado a valor mais são necessários (BVA) e desperdícios (NVA), fornecendo uma visão clara das diferentes contribuições de cada etapa (Fonseca, 2020; Reis, 2021). Uma das principais vantagens desse gráfico é sua eficácia na identificação e redução de desperdícios, possibilitando a reorganização dos processos para maximizar a eficiência (Oliveira & Silva, 2020).

A cronoanálise e o gráfico *Yamazumi* são frequentemente utilizados em conjunto para uma análise abrangente e uma melhoria contínua dos processos de produção. Enquanto a cronoanálise fornece informações detalhadas sobre o tempo gasto em cada atividade, o gráfico *Yamazumi* oferece uma representação visual do fluxo de trabalho e do equilíbrio de carga em toda a linha de produção (Soares et al., 2015).

2.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE PROCESSOS

A simulação é uma técnica que possui o objetivo de analisar as reações geradas a partir um conjunto de entradas de modo a avaliar as mudanças sem que haja interferência no comportamento físico de um determinado processo ou sistema. Dessa forma, há uma redução de custo de implementação por conta dos riscos que são evitados ao analisar a eficácia das alterações propostas antes de realizar as mudanças no processo físico (Milanez, 2021; Fernandes, 2023).

Em termos de simulação computacional, há uma grande variedade de softwares gratuitos e com versões demo que permitem o acesso temporário ao recurso. Os principais são o *Tecnomatix Plant Simulation*, *FlexSim*, o *Arena Simulation*, o *AnyLogic*, o *SimCADSimulation* e o *Siml8* (Daron, 2022).

Apesar de existirem diversos tipos de *softwares*, o *Tecnomatix Plant Simulation* foi o escolhido para a execução deste projeto, uma vez que os autores já estavam familiarizados com este *software* e a empresa onde se realizou o estudo oferece treinamento para funcionários na utilização deste software, o que facilitou o desenvolvimento da pesquisa, e além disso, o *Plant Simulation* apresenta uma vasta gama de ferramentas que podem ser utilizadas para simular desde mudanças de layout até mesmo a simulação de automação de processos, por ter a capacidade de ser integrado a periféricos externos, como por exemplo, os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs).

A *Siemens PLM Software* desenvolveu o *Plant Simulation* para aprimorar e otimizar eventos discretos, tendo como principal aplicação a análise de sistemas físicos ou processos industriais e através de suas diversas ferramentas, é possível estudar e simular diferentes soluções para sistemas físicos, desde os mais simples até os mais complexos (Borges, 2021; Malega, 2022).

Este *software* oferece diversos recursos que auxiliam no estudo de sistemas de manufatura e permitem a otimização de diferentes parâmetros de um processo tais como: a ferramenta de detecção de gargalos (*Bottleneck Analyse*); o monitoramento do fluxo de materiais (diagrama de *Sankey*) e a simulação da otimização de processos (*Experiment Manager*) (Gonzalez, 2021; Costa, 2022), em que essa última ferramenta é fundamental na determinação do número adequado de transportadores, na capacidade de um *buffer* ou um sistema de armazenamento, de acordo com diversos critérios, tais como a redução do estoque e o aumento da capacidade (Xu, 2022).

Ademais, o *Plant Simulation* pode ser empregado em diferentes estudos, como para implementação de melhorias em processos produtivos, para aumentar a produtividade e eficiência dos processos, simulação de diferentes cenários para auxiliar na tomada de decisões referentes a mudança de *layout* ou implementação de sistemas de automação e em estudos de soluções logísticas e ergonômicas (Fedorko et al., 2022; Fernandes et al., 2023).

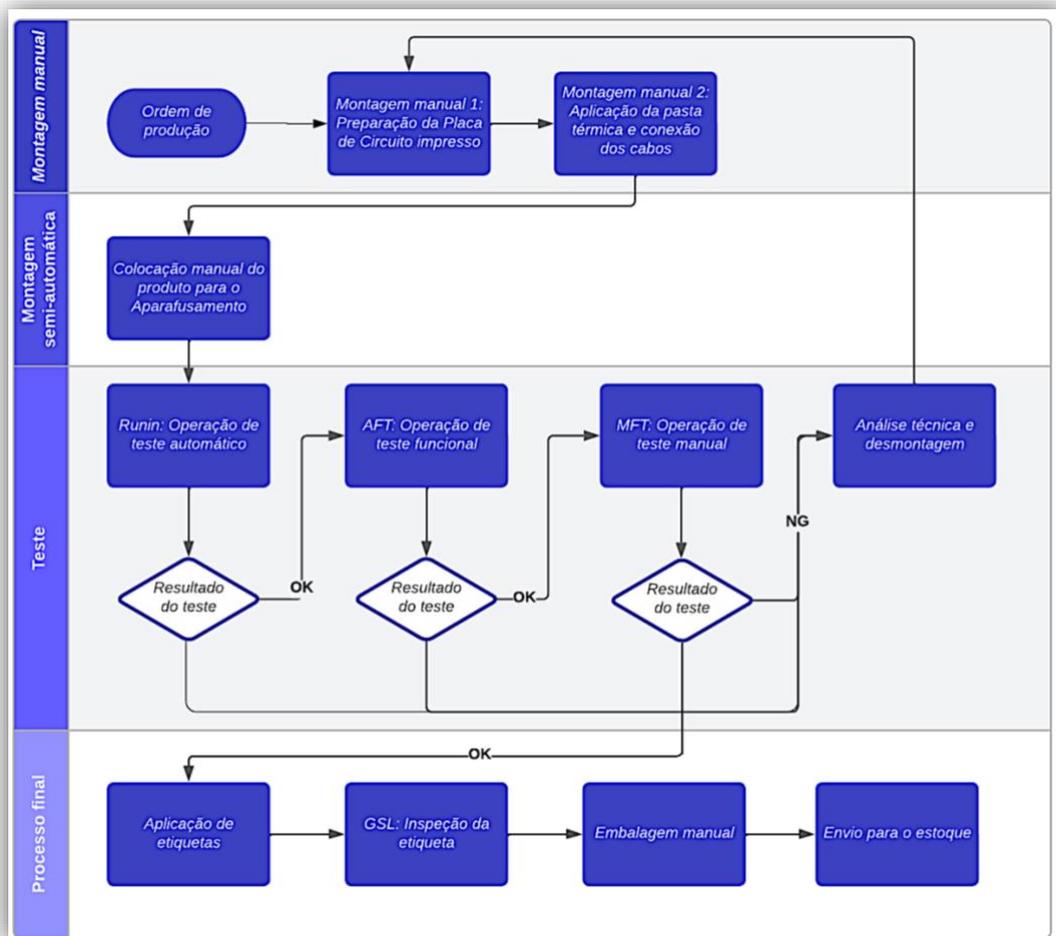
O uso do *software Plant Simulation* para a otimização de processos tem se mostrado cada vez mais frequente, sendo considerado uma ferramenta eficaz para a obtenção de melhorias, otimizações, validações de projetos e automatização (Bambura et al., 2020; Delgado et al., 2022).

3. METODOLOGIA

3.1. DETALHAMENTO DA LINHA

O processo de manufatura em estudo, consiste em uma linha montagem final de uma fábrica de grande porte de rádios automotivos localizada no distrito industrial de Manaus que possui um sistema de produção puxada, demanda variável e é caracterizado como um processo de montagem semiautomático. Para melhor compreensão, foi elaborado o fluxograma para visualização de cada etapa da linha de montagem, em que é composta por máquinas de montagem semiautomáticas, máquinas de testes funcionais e algumas das atividades são realizadas manualmente (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma de montagem da linha de montagem automotiva



Fonte: Autores (2024).

A primeira e a segunda estação são responsáveis pelas operações manuais de preparação da Placa de Circuito Impresso (PCB), aplicação da pasta térmica e conexões de fiação, respectivamente. Em seguida, o processo possui uma estação de aparafusamento automática, estações de teste funcionais do produto como *Runin*, o *Automatic Funcional Test (AFT)*, *Manual Funcional Test (MFT)*, aplicação manual de etiquetas, inspeção automática ou *General Inspeccion of Screw and Labels (GSL)* e por fim, a embalagem manual.

Este processo, não possuía *WIPS* entre as estações de montagem e as peças reprovadas nas estações de teste são direcionadas para a bancada técnica. Além disso, na linha de montagem descrita, as atividades são distribuídas em 9 etapas e atuam 7 operadores na linha em um turno comercial de 8,4 horas por dia.

3.2. AQUISIÇÃO E ANÁLISE DE DADOS DO PROCESSO

A coleta de dados do processo foi feita utilizando um cronômetro para obter o tempo de ciclo de cada estação de montagem, onde foram consideradas 10 tomadas de tempo para cada posto, e na obtenção dos tempos de ciclo considerou-se a média dos tempos cronometrados e o fator de ritmo operacional. A cronoanálise deste processo, foi feita em dois horários diferentes, onde foram feitas 5 tomadas de tempo no período da manhã e as outras 5 no período da tarde, ou seja, a coleta de dados foi realizada durante um turno de trabalho.

Após a obtenção destes dados, foi feito o cálculo de tamanho da amostra para verificar se a quantidade de amostras obtidas tinha confiabilidade de 95%, com isto, verificou-se que a quantidade de amostras obtidas foi suficiente pois estava dentro da confiabilidade estabelecida. Estes cálculos foram feitos no *Excel*, onde foram feitos também os cálculos de capacidade do posto e geração de gráfico para visualização do posto gargalo da linha. Ademais, através da cronoanálise, foi possível a obtenção dos tempos de ciclo de cada posto de trabalho e capacidade produtiva da linha montagem.

3.3. ANÁLISE DE YAMAZUMI

Durante o processo de cronoanálise descrito no tópico anterior, verificou-se que em alguns postos as perdas por ociosidade tinha um tempo elevado, porém através desse método obteve-se apenas o tempo de ciclo total de cada operação, com isso, para o detalhamento das perdas do processo utilizou-se a ferramenta *Yamazumi*.

Na obtenção dos dados utilizou-se uma filmadora, por meio da qual foram feitos os vídeos de cada estação de trabalho e em cada vídeo foram considerados 5 ciclos de montagem. Após a obtenção e análise dos vídeos, obteve-se o detalhamento dos tempos de todas as atividades realizadas em cada estações de trabalho, e em seguida, cada operação foi classificada como atividade que agrega valor (VA), atividade que não agrega valor (NVA), atividade que não agrega valor, mas é necessário ser realizada (BVA).

Com o detalhamento das atividades de cada estação, verificou-se que em alguns postos operacionais tinham um número maior de NVA, com isso, foi feita uma análise destas atividades NVA, e verificou-se que a grande parte das atividades NVAs eram relacionadas ao tempo de espera ou tempo ocioso de algumas máquinas, incluído da máquina gargalo, desta forma, para melhor visualização dos dados classificou-se o tempo ocioso como "NVA *Idle*".

Através desta análise, verificou-se a necessidade de diminuir o tempo de espera entre as estações de trabalho antes e depois do gargalo, o que requer neste caso, a utilização de *WIPs* para reduzir o tempo de espera das estações de trabalho. Porém, o tamanho dos *WIPs* teve que ser dimensionado para evitar a superprodução e respeitando o princípio *JIT*, desta forma, para realizar o correto dimensionamento foi utilizado um *software* de simulação de processos, conforme descrito no tópico seguinte.

3.2. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E IMPLEMENTAÇÃO DOS WIPs

A simulação do processo produtivo em estudo foi realizada com o *Tecnomatix Plant Simulation*, considerando os tempos reais de cada posto de trabalho, obtidos através da cronoanálise, bem como as horas e intervalos de trabalho do processo produtivo.

A jornada de trabalho foi calculada através da ferramenta "*Shift Calendar*", que considerou um turno de segunda a sexta-feira, das 07h00 às 17h10, com dois intervalos de 15 minutos e uma hora de intervalo para o almoço.

Após a inclusão dos dados reais do processo de fabricação, os *WIPs* entre as estações de trabalho foram introduzidos no ambiente de simulação para analisá-los com o objetivo de determinar o tamanho ideal para inibir a superprodução e não ter um impacto no rendimento da linha de montagem, uma vez que a necessidade de utilizá-los foi identificada durante a análise de Yamazumi.

A ferramenta "Experiment Manager" foi usada para determinar o número de WIPs. A ferramenta "root.Drain.StatNumOut" foi utilizada para configurar as variáveis de saída que consiste no número de peças produzidas no final do turno, bem como as variáveis de entrada "root.Buffer1.Capacity", "root.Buffer2.Capacity" e "root.Buffer3.Capacity". Estas variáveis dizem respeito à capacidade de armazenamento de cada WIP que foram posicionados entre as estações que apresentaram um maior tempo de ociosidade.

Após as configurações e a simulação, os números e os tamanhos dos WIPs foram estabelecidos de acordo com a ferramenta "ExperimentManager", considerando o menor número de peças nos WIPs e a maior saída de peças da linha ou melhor capacidade produtiva.

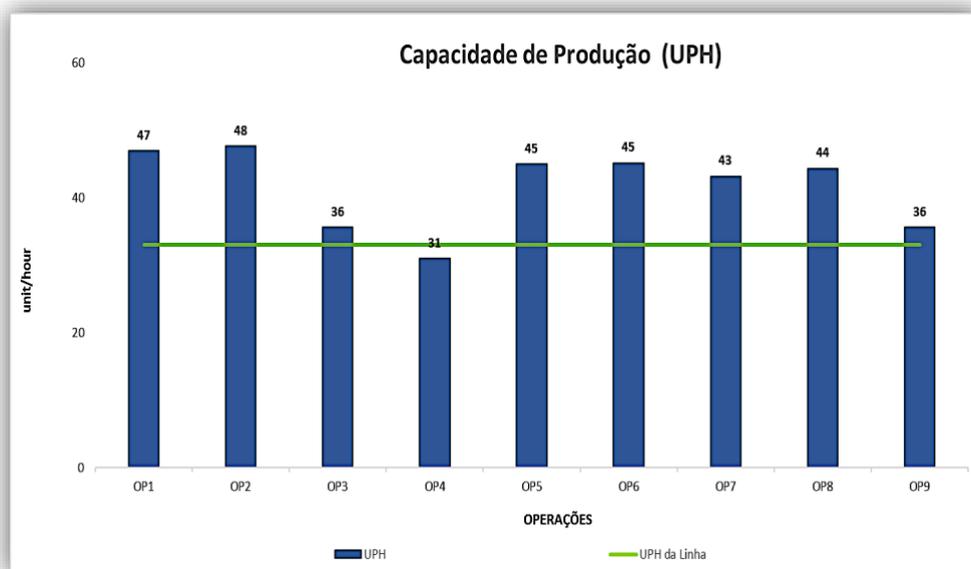
Para implementar os WIPs no processo produtivo, foi necessário limitar o número de produtos no buffer. Dessa forma, foi criado um local para armazenar os produtos em processo entre as estações de trabalho. No entanto, o número de peças foi limitado por uma bancada com limitadores para assegurar que o operador só armazenasse a quantidade determinada. Após a implementação do processo, a análise Yamazumi do processo foi repetida para confirmar a diminuição das perdas na montagem do produto, após a implementação das mudanças no processo definidas por meio da simulação computacional.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Processo De Coleta de Dados do Processo

Com o cálculo da capacidade produtiva de cada posto, definiu-se a capacidade da linha (UPH), como 31 peças/hora, ou seja, a capacidade da linha é determinada pelo tempo de ciclo do gargalo (Figura 2).

Figura 2. Gráfico de capacidade produtiva das estações de trabalho, que foi calculado a partir dos tempos de ciclos obtidos por meio da cronoanálise



Fonte: Autores (2024).

Além dos tempos cronometrados de cada estação, também foi considerado o número de máquinas de cada estação, pois dependendo da quantidade de máquinas, influencia na capacidade produtiva da linha de montagem (Tabela 1).

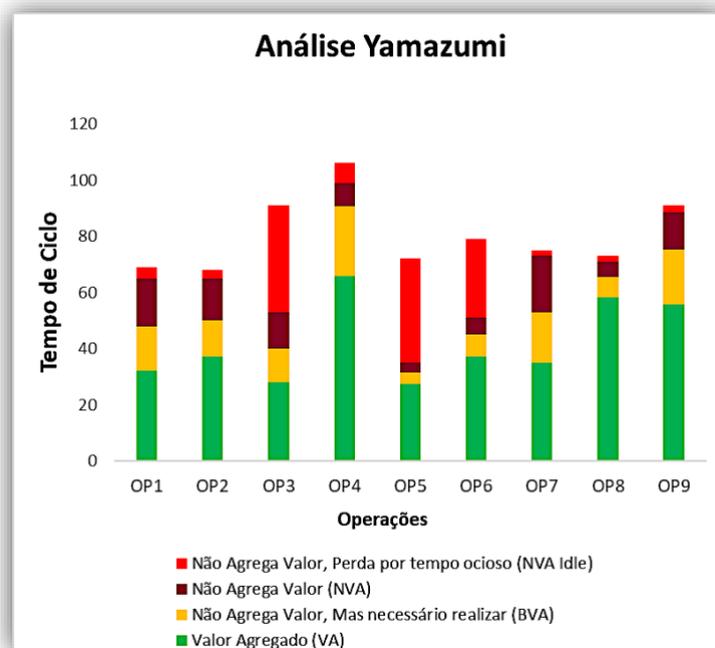
Tabela 1. Dados obtidos na cronoanálise para determinação da capacidade de produção da linha

Operação	Descrição	Equipamentos (Unidade)	Mão de Obra (unidade)	Tempo de Ciclo (sec)	UPH
OP 1	Montagem Manual 1	1	1	69	47
OP 2	Montagem Manual 2	1	1	68	48
OP 3	Montagem Semiautomática	1	1	91	36
OP 4	Runin	20	0,5	2116	31
OP 5	AFT	6	0,5	434	45
OP 6	MFT	4	2	287	45
OP 7	Aplicação de Etiquetas	0	0,33	75	43
OP 8	GSL	1	0,33	73	44
OP 9	Embalagem Manual	0	0,33	91	36

Fonte: Autores (2024).

Os dados do processo de montagem mostrados na Tabela 1, foram utilizados na realização da simulação computacional. Durante o procedimento de cronoanálise, observou-se que as máquinas que antecedem a estação gargalo (OP4) ficam muito tempo ociosas esperando que um dos *slots* termine sua atividade de teste automático, ou seja, aumentando o tempo de ciclo do gargalo.

Isto ocorre quando a estação OP4 finaliza sua atividade ela libera mais de um rádio simultaneamente para a próxima estação de montagem, e os slots vazios da estação de trabalho OP4 aguardam a chegada das próximas peças, o que significa que o tempo de ciclo dessa estação é maior do que deveria, ou seja, o tempo disponível do gargalo não é totalmente aproveitado. Devido a isso, foi realizada a análise *Yamazumi* (Figura 3) para verificar o tempo ocioso dos postos de trabalho com intuito de detalhar as atividades que agregam valor ao processo e as que não agregam valor, visando a redução do tempo das atividades que não agregam valor, para que aumente a capacidade produtiva do gargalo e consequentemente da linha de montagem.

Figura 3. Análise de Yamazumi do processo produtivo

Fonte: Autores (2024).

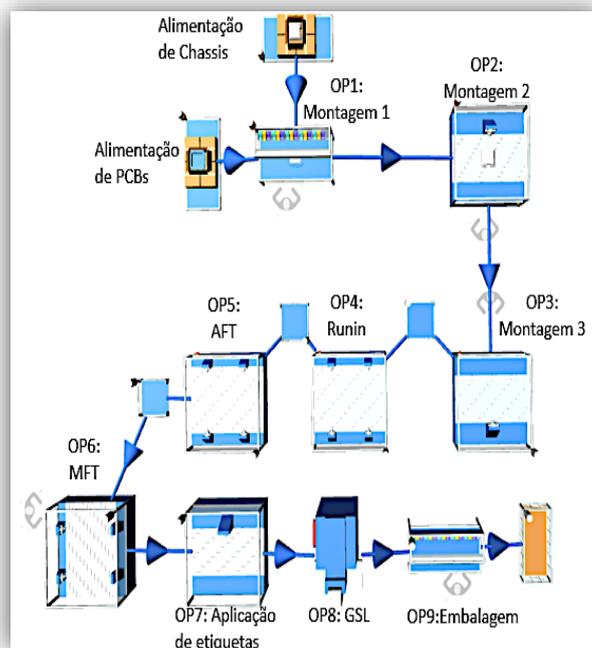
Com a análise apresentada (Figura 3) foi possível confirmar que o maior desperdício das estações é tempo ocioso das máquinas (*NVA Idle*), sendo necessário implementar *WIPs* para que não prejudiquem o processo, já que caso ocorra algum problema ou falha durante o teste do produto, haverá peças em *WIP* para substituir rapidamente a anterior, evitando a ociosidade nos *slots* da máquina gargalo.

4.2 Simulação Computacional

Para realizar a simulação computacional do processo, o *layout* real da produção da linha foi levado em consideração, bem como os dados obtidos sobre os tempos de ciclo de cada estação de trabalho e o tempo disponível de trabalho. A unidade de tempo considerada no simulador foi de segundos, bem como todos os tempos de ciclo obtidos no processo de cronoanálise.

Como cenário de simulação no ambiente do *software Plant Simulation*, considerou-se a utilização de *WIPs* entre as estações com maiores tempos de espera, para confirmar a hipótese levantada durante a fase de análise do processo real. Desta forma, os *WIPs* foram colocados nas seguintes estações: entre a estação de aparafusamento automático e teste funcional (*Runin*), entre teste funcional (*Runin*) e a *AFT* (Teste Funcional Automático) e entre *AFT* e *MFT* (Teste Funcional Manua) (Figura 4).

Figura 4. Simulação do Processo Produtivo no *Software Plant Simulation*



Fonte: Autores (2024).

Para determinar o tamanho ideal dos *WIPs* (Figura 4), utilizou-se a ferramenta “*ExperimentManager*” para obter o resultado de diferentes saídas de acordo com os tamanhos de *WIP* simulados (Figura 5). Sendo que, o relatório gerado apresenta os resultados da simulação considerando como variáveis de entrada os três buffers pré-determinados no início da simulação descritos como “*root.Buffer1.Capacity*”, “*root.Buffer2.Capacity*” e o “*root.Buffer3.capacity*”. E como variável de saída o “*root.Drain.StatNumOut*”, que está relacionado a output de peças da linha de montagem.

Figura 5. Relatório gerado pela ferramenta “ExperimentManager”

Experiment	root.Buffer 1.Capacity	root.Buffer2 .Capacity	root.Buffer3.C apacity	root.Drain.Sta tNumOut
Exp 001	1	1	1	311
Exp 002	1	1	2	311
Exp 003	1	1	3	311
Exp 004	1	1	4	311
Exp 005	1	1	5	311
Exp 006	1	1	6	311
Exp 007	1	2	1	311
.				
.				
.				
Exp 194	6	3	2	322
Exp 195	6	3	3	323
Exp 196	6	3	4	323
Exp 197	6	3	5	323
Exp 198	6	3	6	323
.				
.				
.				
Exp 213	6	6	3	323
Exp 214	6	6	4	323
Exp 215	6	6	5	323
Exp 216	6	6	6	323

Fonte: Autores (2024).

Nessas condições, considerando a inclusão de três *WIPs* no processo, o simulador gerou 216 resultados em diferentes tamanhos de *WIPs*, ou seja, a ferramenta simulou o processo de montagem considerando os três *WIPs* com diferentes tamanhos e retornou como saída a quantidade de peças que seria possível produzir de acordo cada experimento realizado.

Com isso, após obtermos este relatório, chegou-se à fase de tomada de decisão, onde considerou-se dois aspectos importantes: O primeiro foi o princípio *JIT*, que considera que é preciso produzir com o menor nível de estoque possível, e a segunda foi sobre a capacidade da linha de produção.

Com base nestes dois aspectos, a melhor alternativa seria “*Exp 195*”, conforme destacado na Figura 6, pois é o resultado que apresenta maior capacidade diária de produção com o menor tamanho de *WIP* possível. Desta forma, foi definido o tamanho máximo dos *WIPs* como 6 peças/*WIP*, 3 peças/*WIP* e 3 peças/*WIP*, respectivamente, para obter uma produção de 323 peças/dia considerando um turno comercial de trabalho.

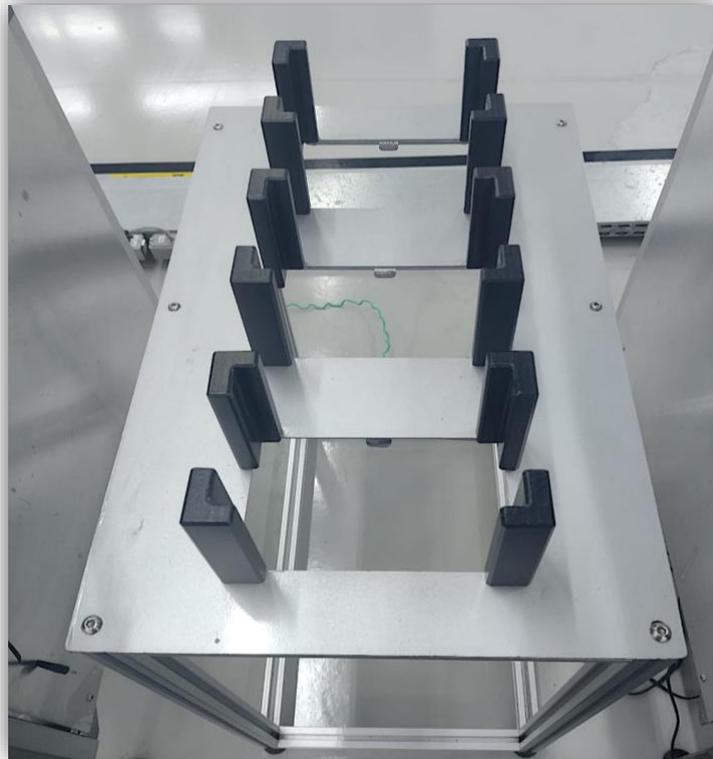
4.3 IMPLEMENTAÇÃO DOS WIPs NA LINHA DE MONTAGEM

Para a implementação física dos *WIPs* na linha de montagem, considerou-se os seguintes aspectos:

- Deveria ocupar apenas o espaço disponível entre os postos de trabalho para a implementação física, uma vez que o espaço disponível na linha de montagem é limitado.
- Não poderia atrapalhar a atividade do operador, ou seja, as peças deveriam ser fáceis de posicionas e remover.
- Deveria ser limitado para acomodar apenas a quantidade máxima permitida.

A partir destes critérios, desenvolveu-se um suporte para posicionamento de peças em *WIP* (Figura 6).

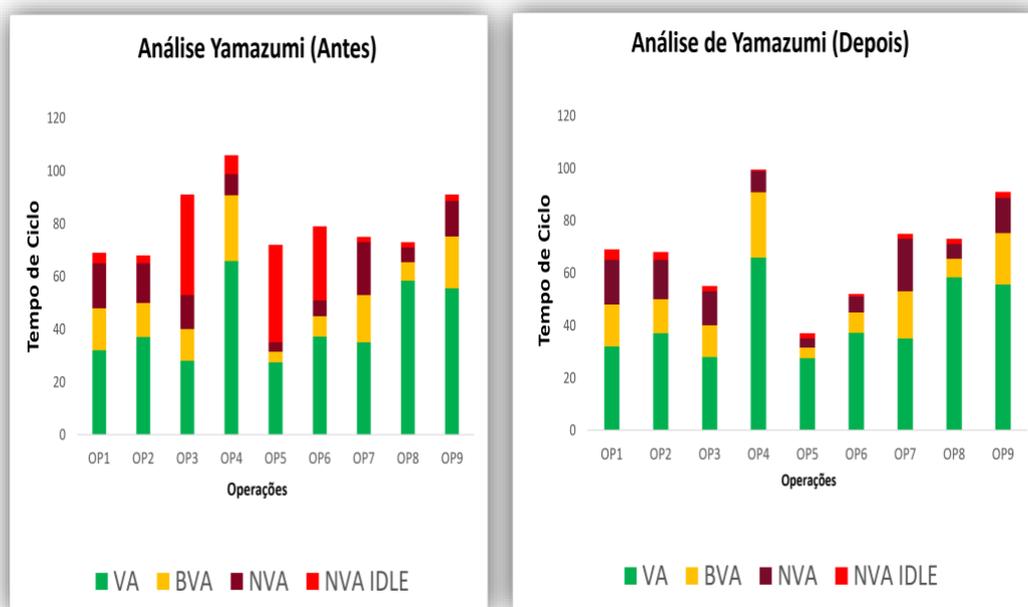
Figura 6. Suporte mecânico de *WIP* com capacidade máxima de 6 peças



Fonte: Autores (2024).

Com a implementação dos suportes para as peças em *WIP* mostradas na Figura 6, obteve-se os resultados apresentado na Figura 7.

Figura 7. Resultados obtidos com a implementação dos *WIPs* na linha de montagem



Fonte: Autores (2024).

Como pode ser visto na Figura 7, com a inclusão dos *WIPs* foi possível reduzir a ociosidade (*NVA Idle*) das estações de trabalho, principalmente OP4, que é o gargalo da linha de montagem, ou seja, atividades que não agregam valor (*NVA*) foram reduzidas, e desta forma, reduziu-se o tempo de ciclo do posto gargalo, ou seja, foi possível aumentar a capacidade produtiva da linha.

Portanto, com a implementação dos *WIPs* no processo estudado obteve-se um resultado satisfatório, uma vez foi possível reduzir o tempo de ciclo da linha, e conseqüentemente, aumenta a capacidade produtiva, onde a produção era de 31 peças/hora e passou a ser de 33 peças/hora, o que corresponde a um aumento de 6% na capacidade de produção da linha de montagem de rádios automotivos, desta forma, o aumento de 6% na capacidade produtiva da linha traz um retorno de 14.090,74 reais ao ano.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A determinação do tamanho dos *WIPs* por meio do *software* de simulação é uma técnica eficaz que tem um impacto benéfico nos processos produtivos, uma vez que pode ser usada não somente para limitar o tamanho dos *WIPs*, mas também para realizar inúmeras otimizações dependendo do processo no qual está sendo estudado.

Desta forma, o *software Plant Simulation* utilizado para a simulação do processo produtivo de rádios automotivos com objetivo de dimensionamento dos *WIPs*, foi fundamental para realização do projeto, uma vez que o *software* possui ferramentas ideais para este tipo de simulação e os resultados previstos por meio dele foram precisos, ou seja, ao implementar no ambiente real de produção o cenário simulado, obteve-se um resultado satisfatório, porque utilizando os *WIPs* com tamanho limitado, obteve-se a redução do tempo de espera, redução do tempo de ciclo da máquina gargalo da linha e como consequência o aumento da capacidade produtiva.

Diante disto, os métodos utilizados foram suficientes para atingir o objetivo estabelecido, uma vez que foram limitados os tamanhos dos *WIPs* e determinados os números ideais para o processo em estudo, de forma a evitar superprodução, eliminar as máquinas ociosas e aumentar a capacidade produtiva da linha.

A análise do processo produtivo com a técnica de cronoanálise e *Yamazumi* metodologia foi crucial para a realização da simulação computacional, uma vez que torna o ambiente de simulação mais próximo possível do processo estudado. Além disso, os cenários propostos pelo ambiente virtual do *Software Plant Simulation* são satisfatórios quando implementados na linha de produção.

Além disso, o uso de um dispositivo mecânico para limitar a quantidade máxima de produtos alocados dentro dos *WIPs* do processo de montagem era uma técnica eficaz, uma vez que, devido à sua estrutura de engenharia, obteve-se um limite de produtos no *buffer*, o que não interferiu negativamente na atividade operacional, não interferiu negativamente no tempo de ciclo da estação e as peças podem ser facilmente posicionadas ou removidas.

Uma das dificuldades encontradas para a implementação deste projeto foi o controle *FiFo* das peças que são posicionadas no dispositivo mecânico para *WIPs*, uma vez que, apesar de atenderem ao objetivo geral, pode haver problemas com o sequenciamento desses produtos, o que significa que alguns produtos podem permanecer mais tempo aguardando para serem processados na próxima estação.

Para melhor evidenciar a problemática, um exemplo é quando são colocadas três peças (A1, B1 e C1) em *WIP* respectivamente, após liberar espaço em dois *slots* de teste da estação

seguinte, duas peças são retiradas de *WIP* (C1 e B1) e uma delas (A1) fica aguardando ser processada na próxima estação, enquanto isso são alocadas mais duas peças (A2, B2) juntamente com a peça que estava aguardando ser processada (A1), nessa situação, pode ocorrer que as duas peças (A2 e B2) sejam retiradas primeiro que a peça (A1) fazendo com que a peça (A1) fique mais tempo que necessário dentro do *WIP*.

Portanto, como trabalhos futuros, é recomendável implementar um sistema automático de controle de ordem *FIFO* em todos os *WIPs* implantados na linha, a fim de assegurar o fluxo contínuo de peças no processo de produção, evitando com que fiquem muito tempo em processamento e que ocorram falhas no produto, porque em algumas das estações o produto não pode demorar a ser parafusado por exemplo, devido ao endurecimento do *GAP Filler* ou pasta térmica que é aplicado nos mesmos.

6. REFERÊNCIAS

- Aichouni, A. B. E. et al. (2021). Process improvement methodology selection in manufacturing: A literature review perspective. *Internacional Journal of Advanced and Applied Sciences*, 8, 12-20. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2021.03.002>
- Abraão Junior, A. E. A. (2022). *A Aplicação da Filosofia Just in Time: Impactos no Estoque em um Estudo Comparativo*. XIII FATECLOG - Os impactos das novas demandas pós pandemia, nos sistemas logísticos das organizações, FATEC MAUÁ/SP - Brasil. Recuperado de <https://fateclog.com.br/anais/2022/267-436-1-RV.pdf>
- Afriansyah, A. & Mohruni, A. (2021). Production planning and control system with just in time and lean production: A review. *Journal of Mechanical Science and Engineering*, 6, 19-27. <https://doi.org/10.36706/jmse.v6i2.31>
- Bambura, R. et al. (2020). *Implementation of Digital Twin for Engine Block Manufacturing Processes*. 10(18), 6578. <https://doi.org/10.3390/app10186578>
- Banga, H. K. et al. (2020). Productivity improvement in the manufacturing industry by lean tool. *International Conference on Aspects of Materials Science and Engineering*, 1788-1794. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.195>
- Borges, E. R. (2021). *Simulação da Instalação de uma Linha de Produção em uma Indústria Automobilística*. 51p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de mecânica) - Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia de mecânica, Alegrete. Recuperado de <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/riui/5632>
- Caldeira, A., Muniz Jr., J., & Cunha, M. A. (2021). Application of Yamazumi Chart to improve productivity in a bottling company: A case study. *Journal of Manufacturing Systems*, 57(3), 370-381. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.12.004>
- Carvalho, J. D. (2023). *Melhoria contínua nas organizações*. 1. ed. Lisboa: Lidel. Edições técnicas, lda., ISBN: 978-989-752-633-6.
- Costa, P. S. (2022). *Proposta de Layout de Indústria Náutica com o Tecnomax Plant Simulation*. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Joinville. Engenharia Naval. Recuperado de <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/237627>
- Daron, M. (2022). Simulations in Planning Logistics Processes a Tool of Decision-making in Manufacturing Companies. *Production Engineering Archives*, 28(4) 300-308. <https://doi.org/10.30657/pea.2022.28.38>
- Delgado Sobrino, D. R., Ružarovský, R., Václav, Š., Cagánová, D., & Rychtárik, V. (2022). Developing simulation approaches: a simple case of emulation for logic validation using tecnomatix plant simulation. *Journal of Physics: Conference Series*, 2212, International Conference on Applied Sciences (ICAS 2021). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2212/1/012011>
- Fernandes, C. L. M., Lopes, W. A. C., da Silveira, R. S., Santo, L. do E., & da Silva Filho, J. I. (2023). Gestão de projeto utilizando indicador-chave de desempenho (kpi) na simulação virtual do desenvolvimento de uma célula robotizada atuando em processos automotivos. *Revista de Gestão e Secretariado*, 14(3), 4274-4298. <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i3.1888>
- Ferreira, I. S. B., Martins Neto, O. S., Almeida, F. P., & Fernandes, N. J. (2020). Aplicação da simulação computacional no setor de produção de uma empresa de software. ConBRepro. X Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, APREPRO, PPGEP-UTFPR. Recuperado de <https://aprepro.org.br/conbrepro/2020/anais/arquivos/092720201709165f70f61cd9f8d.df>
- Fedorko, G., Molnár, V., Strohmmandl, J., Horváthová, P., Strnad, D., & Cech, V. (2022). Research on Using the Tecnomatix Plant Simulation for Simulation and Visualization of Traffic Processes at the Traffic Node. *Applied Sciences*, 12(23), 12131. <https://doi.org/10.3390/app122312131>
- Fonseca, A. S. & Gomes, M. M. (2021). Utilização do Gráfico de Yamazumi na Análise de Desempenho de uma Linha de Produção: Um Estudo de Caso na Indústria Têxtil. *Revista de Administração de Empresas*, 61(5), 465-478. <https://doi.org/10.1590/S0034-759020210503>
- Gonçalves, J. F. S., Guedes, L. M. R., & Borges, M. R. G. (2020). Lean Manufacturing Implementation Using Plant Simulation Software: A Case Study. In: *Proceedings of*

- the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. IEOM Society International.
- Gonzalez, J. H. da C. Q. & Kuwahara, N. (2021). Production Line Virtualization Process Using Plant Simulation Tool. *International Journal for Innovation Education and Research*, 9(9), 188-201. <https://doi.org/10.31686/ijer.vol9.iss9.3329>
- Gupta, S. et al. (2021). Optimization of Manufacturing Processes Using Simulation and Genetic Algorithm. *Procedia CIRP*, 98, 150-155. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.09.034>
- Lang, S. et al. (2021). Open-Source Discrete-Event Simulation Software for Applications in Production and Logistics: An Alternative to Commercial Tools. *Procedia Computer Science*, 180, 978-987. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.349>
- Machado, M. H. G. (2020). *Aplicação de técnicas e ferramentas na gestão de materiais numa empresa têxtil*. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial). Universidade do Minho. Recuperado de <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/83160>
- Malega, P., Daneshjo, N., Rudy, V., & Reháč, R. (2022). Simulation and Optimization of Saw Blade Production in Plant Simulation. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 16(3), 67-77. <https://doi.org/10.12913/22998624/148013>
- Martins Lucas, A., de Melo Freires, V., de Lima Nascimento, A. T., Parente Rossetti Segadilha, B., da Silva Ribeiro, W. M., Solart Leal, L., de Souza Bezerra, A., & Higino Pereira da Silva, R. (2022). Análise e modelagem computacional do processo de manufatura de fitas adesivas em uma empresa do Polo Industrial de Manaus: uma aplicação no software Flexsim®. *Sistemas & Gestão*, 17(1). <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2022.v17n1.1776>
- Milanez, V. F. A. (2021). *Modelo de simulação para configuração de uma linha de produção de acumuladores*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru. Recuperado de <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/43523>
- Nogueira, S. P., de Vilhena, M. B., & Estumano, D. C. (2021). Implantação do sistema Milk Run em uma empresa do polo de duas rodas em Manaus / Deployment of the Milk Run system in a two-wheel polo company in Manaus. *Brazilian Journal of Development*, 7(12), 110153–110170. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n12-009>
- Oliveira, M. V. & Bertoluci, E. A. (2021). Utilizando a Modelagem e Simulação Computacional para a Criação de Cenários Produtivos Adequados na Indústria Canavieira. 8(15), 17-35. Recuperado de <https://revista.fatecsebrae.edu.br/index.php/em-debate/article/view/199>
- Oliveira, J. L. & Silva, M. A. (2020). Implementação do Gráfico de Yamazumi como Ferramenta para Melhoria de Processo: Estudo de Caso em uma Indústria de Componentes Eletrônicos. 2(3), 54-66.
- Oliveira, R. C., Costa, M. J., & Brito, R. A. (2020). Cronoanálise e seu uso na indústria 4.0: revisão sistemática da literatura. *Research, Society and Development*, 9(12). Recuperado de <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/12692>
- Reis, J. G. & Pereira, M. F. (2021). Aplicação do Gráfico de Yamazumi na Redução de Desperdícios em uma Linha de Montagem de Equipamentos Eletrônicos. *Revista de Gestão Industrial*, 17(3), 116-133. <https://doi.org/10.18593/rge.v17i3.28507>
- Ikari, M., Ribeiro, E. C., de Farias, E., Candido, F. F., de Siqueira, L. A., & Amarante, M. dos S. (2020). Aplicação do Lean Manufacturing em conjunto com a manufatura aditiva na redução de desperdícios em processos. *Revista Pesquisa e Ação*, 6(1), 81-104. Disponível em: <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/artic/e/view/894>
- Sánchez, J. M. et al. (2021). Simulation-based optimization of logistics processes in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*, 56, 42-47.
- Siddiqui, A. (2022). The importance of just in time (JIT) methodology and its advantages in health care quality management business – a scoping review. *Biomedical Reviews*, 42, 1-9. <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2022.42.006701>
- Silva, F. V., da., Lima, A. A. B., Rozetiski, F., & Durgiewicz, R. L. Just In Time: Sistema de redução de custos e desperdícios no setor de estoque em um supermercado. Recuperado de https://repositorio.camporeal.edu.br/index.php/tccad_min/article/download/305/8/
- Silva, F. et al. (2022). *Uso do Plant Simulation para Aumento de Produtividade Através do Gerenciador de Experimentos*. Recuperado de <https://revistabrmecatronics.sp.senai.br/ojs/index.php/revistabrmecatronics/article/view/177>
- Soares, D. J. P., Bastos, J., Rodrigues, D. R. G., Pereira, J. P. G. T., & Baptista, A. J. C. (2015). Lean management methods in product development - a case study based on human respect with productivity focus. *International Journal of Lean Enterprise Research (IJLER)*, 1(4), 393. <http://dx.doi.org/10.1504/IJLER.2015.076659>
- Xu, F. (2021). The study of just-in-time inventory management based on the perspective of the Internet of Things. *Proceedings of the 7th Annual International Conference on Social Science and Contemporary Humanity Development (SSCHD 2021)*. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.211215.043>