




Proposta de integração das técnicas e abordagens da manufatura enxuta e da teoria das restrições na redução do *lead time* de uma linha de montagem

Proposal for the integration of lean manufacturing and theory of constraints techniques and approaches in reducing the lead time of an assembly line

Marcus Vinicius Puerta*  E-mail: mvpuerta@maxionsc.com

Bruno Chaves Franco**  E-mail: bf.franco@unesp.br

Julio Cesar Melo***  E-mail: julio.melo@unesp.br

Jorge Muniz Junior***  E-mail: jorge.muniz@unesp.br

*Maxion Structural Components, Cruzeiro, SP, Brasil / Universidade Estadual Paulista (UNESP), Guaratinguetá, SP, Brasil.

** Universidade Estadual Paulista (UNESP), Guaratinguetá, SP, Brasil.

***Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, SP, Brasil.

Resumo: O grande número de competidores globais tem levado a indústria automotiva a buscarem melhorias na gestão operacional. Esse trabalho apresenta uma proposta de integração das técnicas e abordagens da Manufatura Enxuta e da Teoria das Restrições, através de uma aplicação prática, visando a redução do *lead time* de uma linha de montagem de chassi. Em uma primeira etapa foram apresentados os conceitos e as possibilidades de integração de ambas as teorias e, a partir de um diagnóstico inicial do sistema de abastecimento, foram propostas alterações, de maneira evolutiva, em que melhorias baseadas na Manufatura Enxuta eram implementadas a cada rodada de experimento, culminando com a implementação de melhorias baseadas na Teoria das Restrições, integrando ambos os conceitos. O resultado final obtido corrobora a eficiência da integração das duas abordagens para a melhoria de processos, as quais contribuíram para uma diminuição dos tempos de ciclo de abastecimento na ordem de 89% para a célula alvo estudada, sendo superior ao resultado obtido utilizando-se apenas uma das técnicas, sem que houvesse necessidade de investimentos e/ou despesas significativas.

Palavras-chave: Manufatura Enxuta. Teoria das Restrições. Integração. Melhoria contínua. Lead Time. Linha de montagem. Abastecimento. Manuseio de materiais.

Abstract: The large number of global competitors has led automotive industry to seek improvements in operational management. This paper presents a proposal for the integration of the techniques and approaches of Lean Manufacturing and Theory of Constraints, through a practical application, aiming to reduce the lead time of a chassis assembly line. In a first stage, the concepts and possibilities of integration of both theories were presented and, based on an initial diagnosis of the supply system, changes were proposed, in an evolutionary manner, in which improvements based on Lean Manufacturing were implemented in each round. experiment, culminating in the implementation of improvements based on the Theory of Constraints, integrating both concepts. The final result obtained corroborates the efficiency of integrating the two approaches to process improvement, which contributed to a reduction in supply cycle times of around 89% for the target cell studied, being superior to the result obtained using only one of the techniques, without the need for significant investments and/or expenses.

Keywords: Lean Manufacturing. Theory of Constraints. Integration. Continuous improvement. Lead Time. Assembly line. Supply. Material handling.

1 INTRODUÇÃO

Para atingir objetivos de maximização do lucro, obtida pela satisfação dos clientes (Tabish; Syed, 2015) e a entrega de valor (Hein, 1999), sem que seja necessário investir na aquisição de máquinas, contratação de pessoas ou realização de horas extras, é preciso adotar alguma abordagem de resolução de problemas que otimizem os recursos da fábrica e facilitem a gestão adequada dos recursos existentes (SIREGAR, 2019).

A Manufatura Enxuta (ME) e a Teoria das Restrições (TOC) tem sido aplicada conjuntamente para otimizar os recursos, eliminar os desperdícios, reduzir o *lead time* de produção e entrega e facilitar o processo de melhoria contínua (Wu; Zheng; Shen, 2020).

A Manufatura Enxuta (ME) teve sua origem no Sistema Toyota de Produção (STP) e visa reduzir o *lead time* de produção por meio da eliminação dos desperdícios que afetam o fluxo produtivo, proporcionando às organizações que a implantam melhorias na produtividade e qualidade, redução de custos e maior satisfação dos clientes (Bazan-Rios *et al.* 2019; Pacheco *et al.* 2019).

De acordo com Röhling (2020), a ME tem como objetivo atingir o fluxo unitário de peça, o que evita a formação de filas na produção e estoques elevados, contribuindo para prevenir a execução de atividades ou movimentos que não agregam valor, tendo como resultado menores custos e economia de tempo na execução dos processos.

A Teoria das Restrições (TOC) foi desenvolvida pelo físico Israelense Dr. Eliyahu Goldratt, o qual indicava que as empresas podem, por meio deste método de gestão, atingir os objetivos ao identificarem e superarem as restrições do sistema produtivo, sendo as restrições tudo aquilo que limita o desempenho do sistema e reduz o lucro da organização (Kihel; Harbal, 2022).

A fim de permitir que se alcance o objetivo de toda e qualquer organização, qual seja, otimizar a lucratividade e atender os requisitos dos clientes melhor do que a concorrência, a TOC descreve a causa das restrições do sistema e proporciona orientações sobre como resolvê-las por meio de uma abordagem que explora a simplicidade inerente de todo sistema, mesmo os mais complexos (Tabish; Syed, 2015).

Aggarwal e Aggarwal (1985) foram pioneiros nos estudos que relacionam as duas abordagens (ME e TOC), por meio do seu trabalho de comparação entre o *Just In Time (JIT)/Kanban* e o OPT (*Optimized Production Technology*), sendo este último o precursor da TOC, onde concluíram que cada uma dessas técnicas desafiava velhas suposições e até mesmo critérios existentes de gestão, e que ambas são boas naquilo que se propõe apesar dos diferentes pontos de vista, podendo ser complementares.

Gelders e Van Wassenhove (1985) analisaram o comportamento das técnicas MRP, JIT e TOC em ambientes onde as restrições de capacidade eram predominantes e concluíram que a melhor solução era a criação de um sistema híbrido, com o melhor de cada uma delas, uma vez que eram complementares ao invés de serem mutuamente excludentes.

Um dos problemas que ocorrem com frequência em linhas e/ou células de montagem é a falta de um sistema de movimentação de materiais devidamente estruturado que mantenha todo o processo trabalhando em fluxo contínuo e produzindo o necessário (Harris; Harris; Wilson, 2004). Com isso, a busca por conceitos e práticas de excelência de gestão vem aumentando e evoluindo e, nesse cenário, as abordagens da ME e da TOC vêm se destacando como boas alternativas na busca de melhores resultados.

Garza-Reyes *et al.* (2015) recomendaram a realização de mais estudos envolvendo a aplicação das duas abordagens em indústrias de manufatura, objetivando obter resultados sobre eventuais ganhos de desempenho operacional por meio da aplicação conjunta da ME e a TOC.

Pacheco *et al.* (2019) Sugerem a realização de novas pesquisas as quais integrem a ME com a TOC com o objetivo de aumentar a competitividade das empresas via sistema produtivo.

Este artigo tem como objetivo propor a integração das técnicas e abordagens da Manufatura Enxuta e da Teoria das Restrições na redução do *lead time* de uma linha de montagem, com foco na organização e gestão do sistema logístico de abastecimento de componentes em uma célula de solda, como forma de maximizar os recursos da organização.

Para isso, a seguinte questão de pesquisa foi formulada: O uso integrado da ME e da TOC pode reduzir o *lead time* de produção e maximizar os recursos das empresas de manufatura?

O estudo foi realizado em uma linha de montagem de chassis automotivos para picapes e *Sport Utility Vehicles* (SUV) situada no Vale do Paraíba, estado de São Paulo. A linha de montagem (Figura 1) tem capacidade para 11 diferentes modelos de chassis com um tempo *takt* (cadência da produção) de aproximadamente três minutos por chassi, equivalente a 320 chassis por dia.

Cada chassi é composto por cerca de trezentos componentes de aço que, no volume máximo da linha, correspondem a um consumo diário de aproximadamente 96.000 itens. Somam-se a esse volume os elementos de fixação (porcas e parafusos), em torno de 125 por chassi, o que aumenta o giro de componentes em mais quarenta mil peças, totalizando um consumo de cerca de 136.000 itens por dia ao longo de todos os processos que fazem parte da linha.

2 PANORAMA TEÓRICO

Nesta seção é apresentado o referencial teórico sobre a Manufatura Enxuta, a Teoria das Restrições e a integração entre as abordagens.

2.1 Manufatura Enxuta (ME)

A ME, que se originou do Sistema Toyota de Produção (STP), tem como foco a redução do tempo de ciclo por meio da eliminação dos desperdícios, isso porque, quando uma ação desnecessária é eliminada, menos recursos, espaço, tempo e capital são necessários para a produção, o tempo de espera é reduzido e a qualidade aumenta, refletindo na satisfação geral dos clientes (Alvarez *et al.*, 2017).

O método para gestão e controle da produção denominado ME prega a utilização de diversas ferramentas e práticas, tais como o *kaizen*, *kanban*, 5S, *Just In Time* (JIT), *jidoka* e a automação para que, por meio destas se utilize menos recursos, exija menos esforços dos funcionários, reduza os estoques e o lead time de produção e os espaços necessários para a produção, fazendo com que a empresa tenha flexibilidade e agilidade para atender a demanda dos clientes (Garza-Reyes *et al.*, 2015).

Por meio da aplicação das ferramentas e práticas e principalmente da adoção da filosofia de melhoria contínua proposta pela ME, as empresas conseguem produzir mais com menos, minimizar os custos, melhorar os processos produtivos e aumentar

a qualidade dos produtos ou serviços, o que resulta na fidelização dos clientes e lucratividade acima da média do mercado (RÖHLING, 2020). Entre as técnicas da ME tem-se o:

Kanban é um modelo adotado para controle da produção por meio de cartões, os quais demonstram quais peças e qual a quantidade a ser produzida, permitindo a adoção do JIT (Kihel; Harbal, 2022)

JIT tem como objetivo controlar a produção e evitar altos estoques em processo. Para isso, prega a produção da peça ou produto certo, apenas na quantidade necessária e entregue no momento acordado (Mallampati; Srivivas; Tirumala, 2018).

Kaizen é uma filosofia, cujo criador Massaki Imai pregava que as pequenas melhorias aplicadas rotineiramente nas empresas podem levar a grandes conquistas com o passar do tempo, por isso, os gestores devem incentivar os colaboradores a identificarem oportunidades de melhorias e as colocar em prática, visando otimização da produção, aumento da qualidade ou a eliminação dos desperdícios (Khayrullina; Kislitsyna; Chuvaev, 2015).

Os sete tipos de desperdícios que foram identificados inicialmente quando da criação da ME são a superprodução, espera para processamento, transporte desnecessário dos materiais e peças, excesso de estoque, processamento desnecessário, movimentação excessiva dos trabalhadores e defeitos (Röhling, 2020)

Trabalhos recentes consideram um 8o. desperdício que é o não uso do Conhecimento (Muniz Jr. *et al.*, 2021), bem como semelhanças entre a cultura Toyota no Brasil e Japão como mediadores da intenção de compartilhamento do conhecimento entre operadores (Muniz Jr. *et al.*, 2023).

Segundo Bazan-Rios *et al.* (2019), a ME proporciona significativa eficiência no processo produtivo à medida que foca na eliminação dos desperdícios, na redução do tempo de ciclo de produção e em menores tempos de espera, sendo que as ferramentas e práticas criadas para este fim devem ser aplicadas conforme vão se tornando necessárias para o alcance da maior produtividade.

2.2 Teoria das Restrições (TOC)

A TOC é uma abordagem de gestão a qual tem como premissa o processo de melhoria contínua cujo principal objetivo é a identificação e a superação da restrição existente no sistema, pois para seu criador, toda empresa deve ter pelo menos uma restrição, caso contrário, a organização estaria produzindo e gerando lucro infinitamente (Wolniak *et al.*, 2017).

Todo sistema produtivo tem um conjunto de restrições as quais impedem que a organização alcance seus objetivos, ou seja, as restrições podem ser definidas como qualquer fator que impedem o sistema de alcançar níveis elevados de desempenho, por isso precisam ser eliminadas para que assim a empresa possa seguir rumo aos objetivos traçados (Seleem *et al.*, 2020).

Para Wu *et al.* (2020) toda restrição deve ser considerada uma oportunidade de melhoria, sendo que para superá-la, Goldratt criou e disponibilizou cinco passos a serem seguidos pelos praticantes, são eles: (i) identificar a restrição do sistema; (ii) explorar a restrição do sistema; (iii) subordinar todas as decisões à restrição do sistema; (iv) elevar a restrição; (v) não permitir que a inércia cause uma restrição ao sistema.

A TOC incentiva os praticantes a encontrarem formas de maximizarem os recursos da organização, principalmente do Recurso com Restrição de Capacidade (RCC), mas que para isso não devem realizar alterações ou atualizações que sejam dispendiosas, demoradas ou ainda que afete a produtividade dos demais equipamentos ou o fluxo do processo produtivo (Sims; Wan, 2015).

O usuário da TOC atua para encontrar, explorar e subordinar as decisões ao gargalo do sistema, elevar o nível de utilização deste e por fim, retornar ao passo inicial, mantendo assim um ciclo de melhoria contínua. Além disso, a TOC pode ser integrada a outras abordagens, como a ME, isso porque, ambas buscam otimizar os processos produtivos e a utilização integral dos recursos da organização (Bazan-Rios *et al.*, 2019).

Para planejar e controlar a produção, os usuários da TOC dispõem do sistema Tambor-Pulmão-Corda, o qual visa reduzir o tempo de produção, variações no processo e o volume de estoque. Este sistema opera com o Tambor ditando o ritmo da produção em função da restrição, o Pulmão funciona como um pequeno estoque em processo a fim de evitar interrupções no fluxo da produção, principalmente do

recurso com restrição de capacidade e a Corda aciona a liberação de entrada dos materiais no início do processo (Bazan-Rios *et al.*, 2019).

2.3 Integração da ME com a TOC

De acordo com Röhling (2020), tanto a ME quanto a TOC foram desenvolvidas com a finalidade de otimizar os processos produtivos, maximizar os recursos, aumentar a flexibilidade das linhas de produção e reduzir os custos das empresas de manufatura, portanto, existe potencial de aplicação conjunta das abordagens.

Ao longo das últimas décadas diversos autores realizaram estudos relacionando ambas as abordagens, incluindo suas técnicas/ferramentas, além de explorar a sinergia existente entre elas, bem como as comparando. Nesse contexto, o trabalho de Utiyama e Godinho Filho (2013) avaliou a literatura disponível relacionada a ambas as teorias dividindo em dois grupos principais: os trabalhos que demonstram que alguma abordagem/ferramenta se sobressai em alguma situação específica e os trabalhos que mostram que as abordagens/ferramentas são complementares.

Segundo Okimura (2013), embora a ME e a TOC tenham sido desenvolvidas por diferentes autores, os seus conceitos fundamentais possuem elementos em comum, permitindo a complementaridade dos métodos. Enquanto algumas características de cada método poderiam restringir sua aplicação de maneira individual, tais limitações podem ser minimizadas e até eliminadas quando utilizadas de forma conjunta, ampliando sua aplicabilidade.

Santos e Alves (2015) pontuam que as diferenças entre as abordagens da TOC, que têm foco sistêmico, e da ME, que têm foco no processo, podem ser resolvidas de forma as duas se complementarem. A TOC, com o foco na restrição, pode identificar os processos principais que provêm uma maior alavancagem em relação à perspectiva global, e o pensamento enxuto, com seu foco na simplificação, pode eliminar as atividades que não agregam valor.

Exemplo de sucesso na aplicação das duas teorias em conjunto foi apresentado por Siller, Sanchez e Onofre (2010), os quais analisaram uma solução prática de melhorias, através da implementação das soluções da ME em conjunto com

a TOC em um ambiente industrial onde havia a necessidade de redução do *lead time* de fabricação dos produtos destinados ao mercado de exportação. O resultado alcançado foi a redução de 20% do *lead time* de fabricação desses produtos, satisfazendo as necessidades do mercado da empresa e abrindo novas possibilidades de implantação aos gestores que identificaram na ferramenta um potencial para alavancar os negócios.

Sims e Wan (2015) avaliaram em sua pesquisa a exploração da restrição e o conseqüente aumento do fluxo da produção. Os dados apontam que a aplicação das duas abordagens em conjunto tem potencial para obter resultados superiores de até quatro vezes quando comparado com a utilização individual da ME ou TOC.

Lopez-Osorio *et al.* (2022) aplicaram a ME e a TOC em conjunto visando obter melhorias no processo produtivo de uma indústria química, tendo como resultado a redução do lead time de produção em 10,4% e um aumento na produtividade na ordem de 8,8%, ratificando a efetiva do uso conjunto das abordagens.

3 MÉTODO DA PESQUISA

O Caso pesquisado resumiu as etapas metodológicas de Einsenhardt (1989; 2021) para descrever as etapas da pesquisa (Quadro 1). Para melhor evidenciar a contribuição da aplicação conjunta da ME e TOC, esta pesquisa foi desenvolvida de forma evolutiva dividida em 3 fases:

- Fase 1: análise da situação atual por meio do mapeamento do processo, identificação de desperdícios e tomada de tempos do ciclo de abastecimento;
- Fase 2: Aplicação dos conceitos de ME para redução do *Lead Time*;
- Fase 3: Integração dos conceitos da TOC ao processo melhorado por meio dos conceitos de ME.

Quadro 1 - Etapas Metodológicas (adaptado de Einsenhardt, 1989, 2021)

Etapa	Atividade	Resultado
A. Panorama Teórico	Foram selecionados artigos sobre Manufatura Enxuta e TOC para orientar o leitor dos principais conceitos envolvidos e o panorama teórico recente sobre ambos os temas.	Foram selecionados 25 artigos utilizando os descritores ME e TOC nas bases Web of Science e Scopus e sem restrição temporal.

B. Definição de Questão de Pesquisa	A análise crítica da literatura permitiu propor uma questão de pesquisa alinhada à teoria e a realidade organizacional.	O uso integrado da ME e da TOC pode potencializar os ganhos operacionais das empresas de manufatura?
C. Seleção do Caso	O caso descrito foi selecionado para alinhar o panorama teórico dos temas e a realidade organizacional.	A linha de montagem selecionada é detalhada (Fase 1).
D. Planejamento da coleta de dados	Foi criado um protocolo de coleta e tratamento de dados.	O protocolo estruturou as coletas de dados de desempenho da linha e entrevistas com funcionários.
E. Trabalho de campo e Análise de Dados	Descreve-se o caso para explorar os temas pesquisados, esta foi apoiada pela coleta e análise de dados. O Caso da linha é apresentado com base nos dados de desempenho e descrições fornecidas pelos entrevistados.	Mapeamento do processo e entrevistas com operadores e líderes e identificação de 55 desperdícios (Fase 2).
H. Discussão	Discute-se o caso e suas melhorias.	Apresenta-se as melhorias obtidas com a integração do TOC e ME (Fase 3).
I. Conclusão	Consolida-se as principais conclusões e lições aprendidas.	Apresenta-se os principais pontos obtidos pela integração do TOC e ME, e suas Implicações práticas e teóricas.

Fonte: (adaptado de Einsenhardt, 1989, 2021).

Fase 1 - Descrição da Linha

A linha de montagem selecionada (Figura 1) é dividida em quatro áreas principais, cada uma delas com funções específicas:

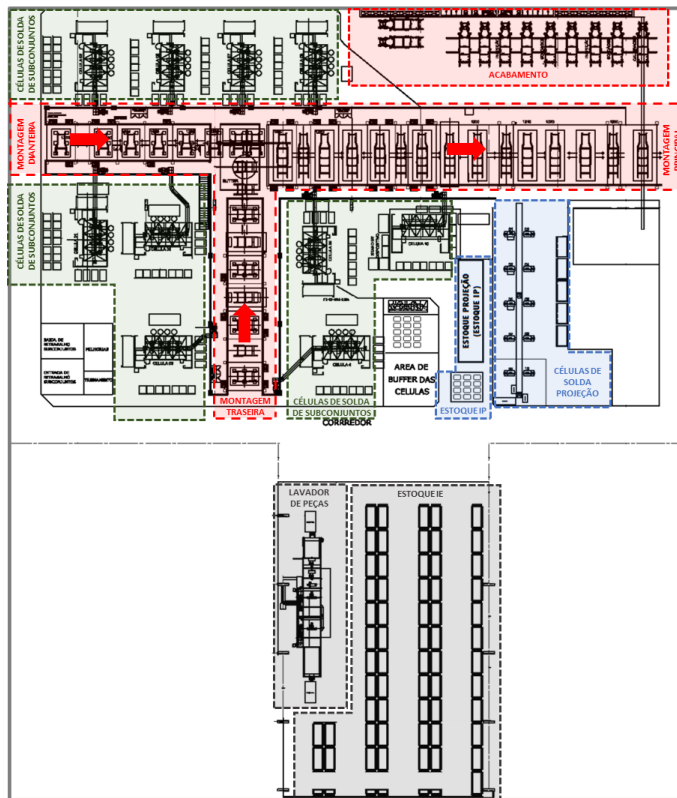
I. Área 1 (em vermelho): Composta pela Montagem dianteira, montagem traseira, montagem final e acabamento, é destinada a montagem e solda dos componentes e subconjuntos que fazem parte dos chassis.

II. Área 2 (em verde): Composta por dez células de solda robotizadas destinadas para a produção de subconjuntos soldados que abastecem a linha de montagem.

III. Área 3 (em azul): Composta pelas células de solda a projeção e estoque de itens processados (IP) destinada a solda dos elementos de fixação (porcas).

IV. Área 4 (em cinza): Composta pelo lavador de peças e o estoque de componentes estruturais (IE) utilizados nas células de solda de subconjuntos e de solda a projeção. Todos os componentes armazenados no Estoque IE passam pelo processo de lavagem no lavador de peças.

Figura 1 - Linha de Montagem de Chassis Soldados



Fonte: Elaborada pelos autores.

Fase 2 – Aplicação das técnicas e abordagens da ME

Na Fase 2 o *Just-in-Time*, o *Kanban* e a redução de desperdícios, originados da ME, serão aplicados na padronização tanto da quantidade de peças a serem abastecidas quanto dos carros de transporte, além da organização da fila de espera para o lavador de peças,

Fase 3 - Integração da ME com a TOC

Na Fase 3 serão aplicados as técnicas e abordagens da TOC às melhorias já implementadas baseadas na ME, integrando-as, com o objetivo de verificar se esta integração proporcionará ganhos adicionais na redução do *lead time* de produção e maximização dos recursos da organização.

4 DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos tanto com a implementação das técnicas e abordagens da ME quanto da integração com a TOC.

4.1 Identificação dos desperdícios e descrição do local de teste prático

Por meio do mapeamento do processo e entrevistas com operadores e líderes foram identificados 55 desperdícios, conforme resumo de ocorrência apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo das Ocorrências de Desperdícios por Operações

DESPERDÍCIOS	OPERAÇÕES ESTOQUE IE								OPERAÇÕES ESTOQUE IP				OCORRÊNCIAS	
	PEGAR CARRO VAZIO	DESLOCAR ESTOQUE IE	PEGAR PEÇAS IE	DESLOCAR LAVADOR	ESPERA LAVADOR	LAVAR PEÇAS IE	DESLOCAR CÉLULA ALVO	DIPOR PEÇAS IE	PEGAR CARRO VAZIO	DESLOCAR ESTOQUE IP	PEGAR PEÇAS IP	DESLOCAR CÉLULA ALVO		DISPOR PEÇAS IP
SUPERPRODUÇÃO			X			X		X			X		X	5
ESTOQUE								X					X	2
PROCESSOS DESNECESSÁRIOS	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	11
DEFEITOS/ RETRABALHOS								X					X	2
TRANSPORTE	X	X	X	X			X		X	X	X	X		9
MOVIMENTO	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	12
ESPERA					X									1
CONHECIMENTO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
OCORRÊNCIAS	4	4	5	3	3	3	4	6	4	4	5	4	6	

Fonte: Elaborada pelos autores.

Em ordem de maior ocorrência dos oito tipos de desperdícios propostos pela literatura da ME (Liker, 2005) tem-se o seguinte diagnóstico:

1) Desperdício de Conhecimento – nas entrevistas identificou-se muitas sugestões para melhoria do processo, as quais não eram utilizadas em benefício do mesmo para aplicação de mudanças que causaram melhorias. O processo era simplesmente seguido, mesmo que isso causasse um desempenho abaixo do esperado, e/ou incômodo para o operador.

2) Desperdício de Movimentação, Processamento excessivo e Transporte – o uso de carros de transporte de peças de tamanhos e capacidades variadas, eleva tanto a necessidade de movimentos diferentes de colocação e retirada de peças dos carros, quanto a necessidade de deslocamentos entre o estoque e postos de trabalho, fazendo com que os abastecedores tenham que fazer até trinta ciclos para completar o giro de abastecimento de uma única célula de solda.

3) Desperdício de Superprodução e Estoque – como não existe uma definição para a quantidade de peças a serem disponibilizadas nos postos de trabalho, os abastecedores colocam a maior quantidade de peças possíveis nos carros de transporte para realização do processo de lavagem e abastecimento. O fato de existirem carros de transporte de tamanhos variados também colabora para que o abastecedor não siga uma regra para as quantidades a serem disponibilizadas nos processos de montagem e solda. Com isso, há um excesso de peças lavadas e disponibilizadas para a linha de produção aumentando o estoque intermediário (WIP – *Work in Process*).

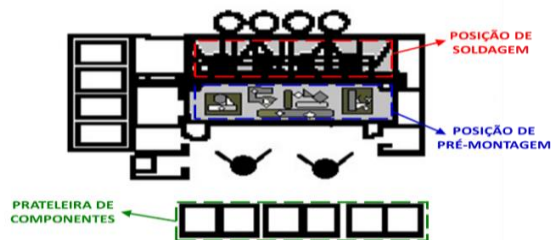
4) Desperdício de Retrabalho – em decorrência do excesso de estoque intermediário e a disposição das peças em LIFO (*Last In, First Out*) ou seja último que entra é o primeiro que sai, faz com que as peças oxidem por permanecerem por mais tempo nos contentores e prateleiras dos postos de trabalho, demandando um novo processo de lavagem.

5) Desperdício de Espera – Como não existe uma regra definida para abastecimento e lavagem de peças, é comum os abastecedores se encontrem com os carros de transporte na entrada do lavador, formando uma fila de espera para a operação de lavagem das peças. O tamanho da fila varia no decorrer dos trabalhos

diários fazendo com que os abastecedores fiquem ociosos esperando a sua vez para colocar as peças no lavador.

Para a tomada de tempos foi selecionada uma célula de subconjuntos soldados e configurada (Figura 2) para o teste dos modelos *SUV*, formada pelo Posto de Trabalho A (Mesa A) que possui 16 componentes diferentes e o Posto de Trabalho B (Mesa B), com 18 componentes diferentes. Alguns dos componentes podem ser usados em mais de uma combinação, resultando em sete subconjuntos diferentes (cinco para Mesa A e dois da Mesa B).

Figura 2 - Representação da célula N^o10

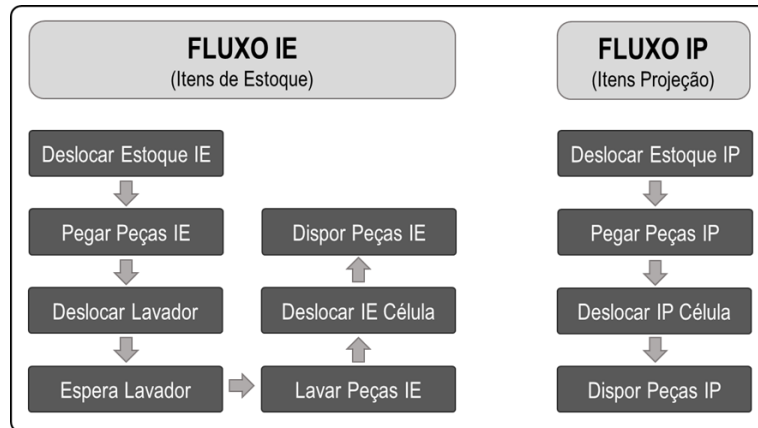


Fonte: Elaborada pelos autores.

Para mitigar erros na tomada de tempos e conseqüentemente nas análises dos testes do método de abastecimento realizados nas fases do experimento, foi definido que o processo iniciaria com a célula vazia, fazendo com que a análise levasse em consideração quanto tempo efetivamente cada método demoraria para abastecer a célula com todos os componentes necessários para seu pleno funcionamento, garantindo assim uma base de comparação entre os métodos de abastecimento.

O ciclo de abastecimento atual é composto por dois tipos de fluxos separados: o fluxo de abastecimento dos itens provenientes do estoque IE e o fluxo de abastecimento dos itens provenientes do estoque IP (Figura 3).

Figura 3 - Fluxos de abastecimento atuais



Fonte: Elaborada pelos autores.

As denominações listadas a seguir serão usadas para identificar as operações de cada um dos fluxos de abastecimento dos testes comparativos e foram baseadas nas operações macro identificadas no processo de diagnóstico do processo atual:

- Deslocar Estoque IE: é o tempo de deslocamento do ponto inicial (local onde ficam os carros de abastecimento vazios) até o estoque de peças (itens IE).
- Pegar Peças IE: é o tempo necessário para pegar as peças que serão levadas ao lavador, incluindo o tempo de deslocamento entre os endereços de armazenagem das diferentes peças que compõe as rodadas de lavagem e abastecimento.
 - Deslocar Lavador: é o tempo de deslocamento entre o estoque de peças e o lavador de peças (itens IE).
 - Espera Lavador: é o tempo de espera na fila do lavador de peças.
 - Lavar Peças IE: é o tempo necessário para lavar os itens do estoque (itens IE). Esse tempo inclui o tempo de colocação das peças na esteira na entrada do lavador, o tempo de lavagem em si, e o tempo de retirada das peças da esteira na saída do lavador.
 - Deslocar IE Célula: é o tempo de deslocamento do lavador de peças (itens IE) até a célula de solda destino.
 - Dispor Peças IE: é o tempo para retirada das peças (itens IE) do carro de abastecimento e colocação das mesmas na prateleira de peças da célula destino.
- Deslocar Estoque IP: é o tempo de deslocamento até o estoque de itens provenientes das células de solda a projeção (Estoque IP).

- Pegar Peças IP: é o tempo necessário para pegar as peças que estão no estoque de itens das células de projeção (Estoque IP) e colocá-las no carro de transporte, incluindo o tempo de deslocamento entre os endereços de armazenagem das diferentes peças que compõem as rodadas de abastecimento.

- Deslocar IP Célula: é o tempo de deslocamento do Estoque IP até a célula de solda destino.

- Dispor Peças IP: é o tempo para retirada das peças (itens IP) do carro de abastecimento e colocação das mesmas na prateleira de peças da célula destino.

O teste consiste na tomada de tempo de todas as movimentações de abastecimento necessárias para disponibilizar todos os componentes usados nas mesas A e B da célula, para os dois fluxos distintos que fazem parte desse ciclo.

4.2 Aplicação das técnicas e abordagens da ME – Fase 2 da pesquisa

Para validar a padronização da quantidade de peças abastecidas e dos carros de transporte utilizados no lavador, bem como a melhor organização da fila de espera, a partir dos conceitos do *Just-in-Time*, *Kanban* e da redução dos desperdícios, três testes para tomada de tempos foram considerados:

- No Primeiro teste, denominado de Padrão, definiu-se a quantidade padrão em 15 kits de peças em função da capacidade diária de produção de 15 veículos SUV;

- O Segundo teste é uma evolução do primeiro teste em que se acrescenta a melhoria nos carros de transporte. Dois carros de transporte foram desenvolvidos para respectivas acomodações dos itens relativos à Mesa A e a Mesa B, que também servem de contentores para a célula, ou seja, o contentor da célula se movimenta para coleta dos itens. Assim, com apenas uma viagem aos estoques IE e IP é possível coletar todos os itens necessários para o trabalho de montagem dos veículos SUV, a partir da quantidade padrão de 15 kits;

- O Terceiro teste aplicou a melhoria de eliminação do desperdício de tempo de espera para a lavagem das peças, presente no segundo teste. Para esta melhoria o lavador foi preparado para estar disponível sem a fila de abastecedores, ou seja, sem filas de espera. Com isso, o abastecedor colocava as peças na esteira de abastecimento do lavador assim que chegava ao mesmo.

A Tabela 2 apresenta os resultados das somas dos tempos de cada teste de abastecimento do sistema baseado na ME em comparação com o processo atual.

Tabela 2 - Resultados da tomada de tempos dos testes para sistema de abastecimento baseado na aplicação da ME

Ciclo	Mesa	Quantidade de itens	Quantidade de peças	Deslocar estoque IE	Pegar peças IE	Deslocar lavador	Espera lavador	Lavar peças IE	Deslocar IE célula	Disponer peças IE	Deslocar estoque IL	Pegar peças IL	Deslocar estoque IP	Pegar peças IP	Deslocar IP célula	Disponer peças IP	Tempo total (seg)	Tempo total (min)	Total ciclo (min)	Redução x Atual (%)	Redução x Padrão (%)
Atual	A	16	570	627	991	818	2025	2503	913	867	0	0	38	114	14	102	9017	150	326	-	-
	B	18	690	706	1164	944	2239	2938	1147	1020	0	0	42	162	17	153	10532	176			
Padrão	A	16	285	635	617	811	2114	2257	930	485	0	0	40	59	15	57	8019	134	289	-	11%
	B	18	345	714	742	940	2256	2657	1135	656	0	0	41	89	16	77	9322	155			
ME	A	16	285	97	642	137	628	1421	0	0	0	0	141	63	14	0	3427	57	120	-	58%
	B	18	345	102	814	146	603	1513	0	0	0	0	143	88	16	0	3770	63		63%	
ME sem Espera	A	16	285	99	662	144	0	1390	0	0	0	0	147	60	16	0	2517	42	89	-	69%
	B	18	345	103	794	139	0	1499	0	0	0	0	154	92	15	0	2796	47		73%	
ME + TOC	A	16	285	0	0	0	0	0	0	66	653	89	64	18	0	890	15	32	-	-	
	B	18	345	0	0	0	0	0	0	70	788	86	90	17	0	1051	18		90%	89%	

Fonte: Elaborada pelos autores.

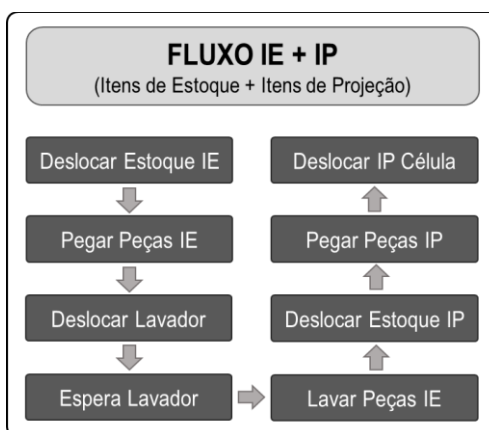
No Primeiro teste nota-se que com a definição de 15 kits para atendimento diário a quantidade de peças coletadas são de 285 para a mesa A e de 345 para a mesa B, com tempos totais de abastecimento de 134 e 155 minutos respectivamente, totalizando um ciclo de 289 minutos para abastecimento completo de todos os componentes.

Esse resultado evidencia que a eliminação da superprodução reduziu em 11% o tempo total de abastecimento do ciclo de peças em relação ao sistema de abastecimento atual sem uma padronização da quantidade de peças. Além disso,

essa mudança elimina o desperdício de retrabalho, uma vez que a quantidade de peças preparadas para serem utilizadas é a quantidade a ser consumida, não havendo a possibilidade de oxidação por tempo no contentor.

O desenvolvimento dos carros de transporte no segundo teste fez com que o fluxo de abastecimento se tornasse único, unindo os fluxos de Estoque IE e Estoque IP de maneira sequencial, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Fluxos de abastecimento do Segundo Teste



Fonte: Elaborada pelos autores.

Unindo os processos IP e IE há uma redução significativa no tempo de deslocamento até o estoque IE, uma vez que apenas um deslocamento é necessário e, pelo mesmo motivo, tem-se uma diminuição do tempo de deslocamento até o lavador de peças.

O tempo de lavagem das peças também foi reduzido e ocorreu devido ao fato de todas elas serem colocadas em sequência no lavador, com melhor aproveitamento da área útil da esteira de entrada do mesmo. Com isso lavam-se mais peças por ciclo, em um único tempo de lavagem contínuo, até a retirada de todos os itens para o carro de transporte.

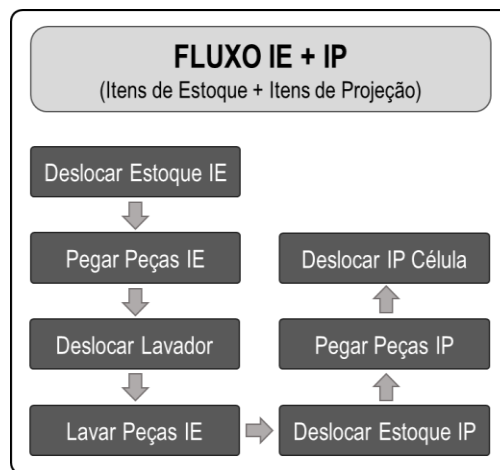
Pode-se observar também a eliminação dos tempos de disposição de peças nos contentores da célula, uma vez que o próprio carro de transporte é o contentor.

Esse teste mostrou uma evidente diminuição dos tempos de ciclo para o abastecimento de cada mesa, respectivamente 57 e 63 minutos, com tempo total de 120 minutos. Isso representa uma diminuição de 63% do tempo de abastecimento se

comparado ao sistema de abastecimento atual e de 58% se comparado ao sistema de abastecimento com quantidades padrão.

O Terceiro teste teve o objetivo de eliminar o desperdício do tempo de espera e foi obtido preparando o lavador para estar disponível sem a fila de abastecedores, ou seja, o abastecedor dispõe as peças na esteira de abastecimento do lavador assim que chega ao mesmo, conforme fluxo apresentado na Figura 5. Esta melhoria reduz o ciclo de abastecimento da Mesa A para 42 minutos e da Mesa B para 47 minutos, totalizando 89 minutos, cujo fluxo está representado na Figura 5.

Figura 5 - Fluxos de abastecimento do Terceiro Teste



Fonte: Elaborada pelos autores.

4.3 Integração das técnicas e abordagens da ME com a TOC– Fase 3 da pesquisa

Na Fase 3 foram aplicadas as técnicas e abordagens da TOC às melhorias já implementadas baseadas na ME, integrando-as.

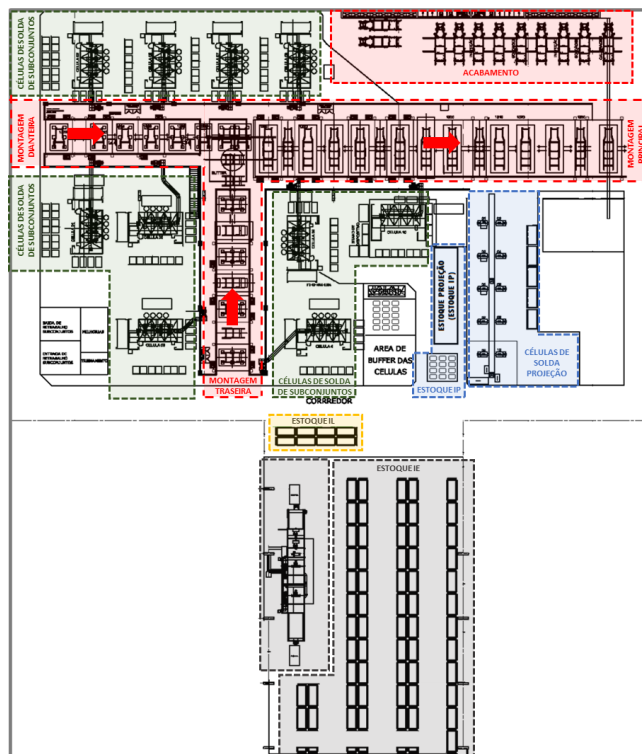
Apesar das modificações dos processos baseadas nos conceitos de ME terem conseguido resultados expressivos na diminuição do tempo de ciclo, a etapa de Lavar Peças IE ainda permanecia com um tempo de ciclo mais alto em relação às demais, ou seja, havia uma restrição (RRC - explicar o que é um RRC), no caso, o lavador de peças, que limitava o desempenho de todo o processo.

De acordo com os conceitos da TOC, a restrição (RRC) deveria ser elevada para que fosse possível uma melhoria do desempenho, o que nesse caso específico significaria reduzir o tempo de ciclo dessa etapa do processo. Porém, essa redução

só seria possível se houvesse uma alteração do equipamento para tornar o processo mais rápido, uma vez que ele operava em sua velocidade máxima, o que demandaria um período de tempo elevado para sua modificação e também um alto valor de investimento.

Através da aplicação das técnicas do Tambor-Pulmão-Corda (TPC) e do gerenciamento de pulmões (*Buffer Management* – BM), um estoque intermediário (Estoque IL), destacado em amarelo na Figura 6, foi implementado estrategicamente posicionado entre o Estoque IE a Linha de Montagem, ou pulmão de tempo, constituído de componentes previamente lavados provenientes do Estoque IE, para elevar a capacidade do sistema de abastecimento sem que houvesse a necessidade de modificações no mesmo, permitindo ao abastecedor realizar a coleta dos itens previamente lavados sem aguardar pelo processo do lavador, que por sua vez continuaria a processar peças do estoque IE de maneira a manter tanto o fluxo de abastecimento, quanto o pulmão abastecido.

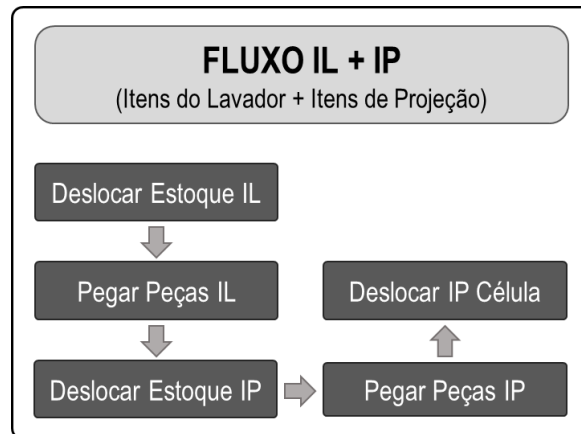
Figura 6 - Linha de Montagem de Chassis Soldados com Estoque IL



Fonte: Elaborada pelos autores.

Para testar a eficácia da proposta de abastecimento baseada na integração da ME com a TOC, foram previamente lavados todos os componentes necessários para uma rodada de abastecimento da célula de subconjuntos conforme fluxo apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Fluxo de abastecimento do Ciclo ME + TOC



Fonte: Elaborada pelos autores.

Comparado com os testes da Fase 2, tem-se duas novas operações macro:

- Deslocar Estoque IL: é o tempo de deslocamento da célula alvo até o estoque de peças lavadas (Estoque IL).
- Pegar Peças IL: é o tempo necessário para pegar as peças que estão no estoque de peças lavadas (Estoque IL) e colocá-las no carro de transporte, incluindo o tempo de deslocamento entre os endereços de armazenagem das diferentes peças que compõe a rodada de abastecimento.

A utilização dos métodos tradicionais de avaliação da restrição, bem como a utilização do método de avaliação através do monitoramento dos tempos de ciclo proposto por Sims e Wan (2015), mostraram que a restrição (RRC) do processo de abastecimento, tal qual desenhado e utilizado na empresa, era o processo do lavador de peças.

Identificado o RRC, partiu-se para utilização do método Tambor-Pulmão-Corda para otimização do processo, com a inclusão dos pulmões de tempo necessários para proteger o processo de eventuais perdas devido à restrição, sendo que nessa etapa foi identificada uma divergência da aplicação da teoria.

A aplicação do pulmão da restrição não teria efeito prático pois, se o lavador possuía uma fila de carros de abastecimento esperando para terem as suas peças

lavadas, não seria necessário um pulmão para “proteger” a restrição de trabalhar abaixo da sua capacidade máxima.

Dessa forma, foi decidida a utilização de um pulmão de espaço (*Space Buffer*) – Estoque IL, que de acordo com as definições do dicionário TOCICO (COX *et al.*, 2012), é o espaço localizado imediatamente após a restrição para acomodação dos itens provenientes da mesma.

Os resultados evidenciam mais uma vez uma redução dos tempos de abastecimento. Nesse caso, o ciclo de abastecimento de cada mesa foi reduzido de 24 e 29 para 15 e 18 minutos respectivamente, totalizando 33 minutos. A partir do momento que o processo de abastecimento deixou de ser uma restrição para o processo, obteve-se uma redução de 64% no tempo de ciclo em comparação ao Ciclo ME Sem Espera, que corresponde a uma redução de 90% em relação ao Ciclo Atual é de 89% em relação ao Ciclo Padrão.

A decisão de utilização do pulmão de espaço (*Space Buffer*) gerou um conflito entre a teoria e a prática aplicada, isso porque, se o lavador era a restrição, não haveria a necessidade da utilização de um pulmão de espaço (*Space Buffer*), uma vez que a capacidade de processamento dessa etapa é menor do que o restante da cadeia.

Esse fato levou à conclusão de que apesar do resultado positivo da aplicação, existia alguma variável que não havia sido evidenciada. Assim, baseado no método proposto por Pretorius (2014), utilizou-se o mapa de tomada de decisões, concluindo que a restrição estudada neste trabalho não era uma restrição física, mas sim uma restrição não-física, no caso, o método de trabalho definido.

Por definição, quando uma restrição não-física é encontrada, deve-se modificar os conceitos e comportamentos utilizados, o que torna esse passo uma definição estratégica sobre o que fazer (PRETORIUS, 2014). O pulmão de espaço foi necessário para acomodar as peças do lavador, uma vez que ele possui capacidade de processamento em volume maior do que o consumo da célula alvo, entretanto, o que o levava a ser a restrição era o método de trabalho e o sistema de abastecimento.

Vale ressaltar que a mudança do processo gerou uma mudança significativa no tempo de ciclo, mas não elimina o processo do estoque IE e do lavador de peças. Essas atividades continuam a alimentar os processos e o pulmão de tempo utilizado no abastecimento da célula de subconjuntos soldados.

O ganho real da mudança permitiu que o abastecedor tivesse mais tempo para realização de outras atividades, ou outros abastecimentos, pois a atividade que antes levava cerca de 326 minutos para ser concluída, passou a ser feita em cerca de 32 minutos. Com isso, outras células podem ser abastecidas por um único funcionário, liberando os outros três abastecedores para realização de atividades não relacionadas diretamente ao abastecimento de linha.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho atingiu o objetivo de propor a integração das técnicas e abordagens da Manufatura Enxuta e da Teoria das Restrições na busca da redução do lead time de produção de uma linha de montagem. Para validar a integração, testes práticos foram realizados em uma empresa e os resultados alcançados nos tempos de ciclo, após cada rodada de testes baseados nos conceitos da ME mostraram a eficácia do método proposto, uma vez que conseguiram reduções próximas a 70%, resultado esse alinhado ao estudo de Taj e Berro (2006), que concluiu que as empresas desperdiçam de 70% a 90% de seus recursos disponíveis.

Os tempos de ciclo baseados na integração de ambas as teorias (ME+TOC) conseguiram uma redução de 90%, superior à obtida com a adoção da ME isoladamente. Este resultado indica que as abordagens proporcionam melhoria para os processo quando aplicadas de forma isolada, mas com maior potencial de ganhos quando adotadas de forma integrada, tal como proposto por Hein (1999) e apresentado por Kasemset (2011), Okimura (2013), Santos e Alves (2015) e Siller, Sanchez e Onofre (2010)

Casos em que os custos de mudanças são altos, levando-se em consideração apenas a utilização dos métodos da ME (eliminar todo e qualquer desperdício), mostram que o uso dos conceitos da TOC ajuda a melhorar o resultado, sem propriamente haver a necessidade de realizar modificações de elevado custo, conforme também concluído por Ramos e Tenera (2009).

Como implicação prática destaca-se que esta pesquisa conseguiu aplicar de maneira integrada os conceitos das abordagens ME e TOC, as quais permitiram obter ganhos efetivos na produtividade em uma célula de lavagem de peças de uma empresa de manufatura. Tanto o roteiro de aplicação quanto as ferramentas e práticas

adotadas podem servir de roteiro para outras organizações, por meio de sua liderança, alcancem melhores resultados e tirem proveito do que a ME e a TOC tem a oferecer aos praticantes.

Neste estudo identificamos que a superprodução foi o desperdício que, ao ser eliminado, mais contribuiu para os ganhos de eficiência na célula de manufatura avaliada no estudo de caso. Esse resultado é diferente da literatura, a qual aponta que a superprodução não é o principal desperdício encontrado nas empresas (Mallampati; Srivivas; Tirumala, 2018; Muniz Jr. *et al.*, 2021).

Sugerimos para estudos futuros pesquisas sobre a interação entre restrições não-físicas que podem levar a existência de restrições físicas “não reais”. Outra sugestão de pesquisa futura é sobre como as situações de restrições não-físicas e físicas “não reais” podem afetar a tomada de decisão em projetos de melhoria de linhas de montagem ou mesmo processos correlatos.

REFERÊNCIAS

AGGARWAL, Sumer C.; AGGARWAL, Sudhir. The management of manufacturing operations: an appraisal of recent developments. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 5, n. 3, p. 21-38, 1985.

ALVAREZ, Kevin; ALDAS, Darwin; REYES, John. Towards lean manufacturing from theory of constraints: a case study in footwear industry. In: **2017 International conference on industrial engineering, management science and application (ICIMSA)**. IEEE, 2017. p. 1-8.

BAZAN-RIOS, Karla *et al.* An integrated system: Lean, six sigma and theory of constraints, a study applied in wooden furniture industry in lima, peru. In: **2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC)**. IEEE, 2019. p. 347-352.

COX III, J. F. *et al.* **The Theory of Constraints International Certification Organization Dictionary**, 2nd ed., 2012. 135 p.

EISENHARDT, Kathleen M. Building theories from case study research. **Academy of management review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.

EISENHARDT, Kathleen M. What is the Eisenhardt Method, really?. **Strategic Organization**, v. 19, n. 1, p. 147-160, 2021.

GARZA-REYES, Jose Arturo *et al.* Adoption of operations improvement methods in the Greek engineering sector. In: **2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)**. IEEE, 2015. p. 1-8.

GELDERS, L. F.; VAN WASSENHOVE, L. N. Capacity planning in MRP, JIT and OPT: a critique. **Engineering Costs and Production Economics**, v. 9, n. 1, p. 201-209, 1985.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **The Goal: A Process of Ongoing Improvement**. Croton-on-Hudson, NY: North River Press, 1984. 384 p.

HARRIS, R.; HARRIS, C.; WILSON, E. **Fazendo Fluir os Materiais: Um guia lean de movimentação de materiais para profissionais de operações, controle de produção e engenharia**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2004. 93 p.

HEIN, K. Creating continuous improvement synergy with lean and TOC. In: **ASQ World Conference on Quality and Improvement Proceedings**. American Society for Quality, 1999. p. 543-549.

KHAYRULLINA, Marina Valentinovna; KISLITSYNA, Olga Anatolyevna; CHUVAEV, Alexey Vladimirovich. Production systems continuous improvement modelling. **Quality Innovation Prosperity**, v. 19, n. 2, p. 73-86, 2015.

KHIHEL, F., & HARBAL, A. (2022). Interactions between the Theory of Constraints and Sustainable Lean Management. *African Scientific Journal*, Vol. 3, No. 14, pp. 435-435.

KASEMSET, C. A review on quality improvement and Theory of Constraints (TOC). In: **Quality and Reliability (ICQR), 2011 IEEE International Conference on**. IEEE, 2011. p. 327-330

LIKER, J. K. **O Modelo Toyota: 14 Princípios de Gestão do Maior Fabricante do Mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005. 320 p.

LOPEZ-OSORIO, Adrian Tetsuo *et al.* Production Model Integrating TOC and Lean for Lead Time Reduction in Chemical Manufacturing: An Empirical Research in Peru. In: **2022 The 9th International Conference on Industrial Engineering and Applications (Europe)**. 2022. p. 44-49.

MALLAMPATI, Mahesh; SRIVINIVAS, Kolla; TIRUMALA, Krishna M. Design process to reduce production cycle time in product development. **IAES International Journal of Artificial Intelligence**, v. 7, n. 3, p. 125, 2018.

MUNIZ JR, Jorge; RIBEIRO, Vagner Batista; PRADHAN, Ninad. Knowledge-Based Assessment Applied to Lean Brazilian Toyota Plants: Employees'
Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 24, n. 4, e-5144, 2024.

Perceptions. **International Journal of Knowledge Management (IJKM)**, v. 17, n. 2, p. 1-22, 2021.

OKIMURA, L. I. **Uma exploração dos modelos de uso integrado da Teoria das Restrições, Produção Enxuta e Seis Sigma**. 2013. 203 f., Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção – Área de Concentração de Gestão de Produção e Sistemas) – Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2013.

PACHECO, Diego Augusto de Jesus *et al.* Exploring the integration between Lean and the Theory of Constraints in Operations Management. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 10, n. 3, p. 718-742, 2019.

PRETORIUS, P. Introducing in-between decision points to TOC's five focusing steps. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 2, p. 496-506, 2014.

RAMOS, M. Z.; TENERA, A. Leveling the Production of a Potting System: A TOC/Lean approach. In: **IIE Annual Conference. Proceedings**. Institute of Industrial Engineers-Publisher, 2009. p. 2091-2096.

RÖHLING, Tom. **Application of Lean Manufacturing and Theory of Constraints to the service sector**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. University of Twente.

SANTOS, R. F.; ALVES, J. M. Proposta de um modelo de gestão integrada da cadeia de suprimentos: aplicação no segmento de eletrodomésticos. **Production**, v. 25, n. 1, p. 125-142, 2015.

SELEEM, Sameh N. *et al.* A lean manufacturing road map using fuzzy-DEMATEL with case-based analysis. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 11, n. 5, p. 903-928, 2020.

SILLER, M.; SANCHEZ, T.; ONOFRE, J. Reducing Order Cycle Time Through a TOC-Lean Approach: A Case Study. In: **IIE Annual Conference. Proceedings**. Institute of Industrial Engineers-Publisher, 2010. p. 1-6.

SIMS, T., WAN, Hung da. (2015). Constraint identification techniques for lean manufacturing systems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 43, pp. 50-58. 2015.

SIREGAR, I. Application of Theory of Constraints in Bottleneck Work Stations Optimization. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2019. p. 012024.

TABISH, S. A.; SYED, Nabil. Securing the Future: A Systems Approach to Continuous Improvement in Health Care by Applying the Theory of

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 24, n. 4, e-5144, 2024.

Constraints. **International Journal of Science and Research (IJSR)**, v. 438, n. 1, p. 2674-2695, 2015.

TAJ, S.; BERRO, L. Application of constrained management and lean manufacturing in developing best practices for productivity improvement in an auto-assembly plant. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 55, n. 3/4, p. 332-345, 2006.

UTIYAMA, M. H. R.; GODINHO FILHO, M. A literatura a respeito da comparação entre a teoria das restrições e a manufatura enxuta: revisão, classificação e análise. **Gestão e Produção, São Carlos**, v. 20, n. 3, p. 615-638, 2013.

WOLNIAK, Radosław; SKOTNICKA-ZASADZIENÍ, Bożena; ZASADZIENÍ, Michał. Application of the theory of constraints for continuous improvement of a production process-case study. In: **3rd International Conference on Social, Education and Management Engineering (SEME), Shanghai**. 2017. p. 169-173.

WU, Kan; ZHENG, Meimei; SHEN, Yichi. A generalization of the Theory of Constraints: Choosing the optimal improvement option with consideration of variability and costs. **IISE Transactions**, v. 52, n. 3, p. 276-287, 2020.

Os autores

Marcus Vinicius Puerta

Engenheiro Mecânico (1999) e Pós Graduado em Qualidade e Produtividade (2003) pela UNIFEI - Universidade Federal de Itajubá, Mestre em Engenharia de Produção (2016) pela UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Experiência no desenvolvimento e implementação de projetos de melhoria, Gestão de Operações e Qualidade, trabalhando temas de Lean Manufacturing e TOC (Theory of Constraints) Transformação Digital, Supply Chain e Administração de Operações.

Bruno Chaves Franco

Engenheiro de Produção Mecânica (2007) e Mestre (2011) pela UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" e Doutorado Sanduíche (2014) em Engenharia de Produção pela Université de Nantes - França. Experiência no desenvolvimento e implementação de projetos de melhoria da experiência do cliente e eficiência operacional trabalhando com temas como: Excelência Operacional, Transformação Digital, Supply Chain, Lean, Business Analytics e Data Science.

Julio Cesar Melo

Mestre em Engenharia de Produção pela Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista (UNESP) e doutorando pela Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista (UNESP). Desde 2019, leciona nos cursos de Engenharia de Produção, Engenharia Mecânica, Engenharia Elétrica, Engenharia Civil, Administração e Sistemas de Informação. Tem experiência em Engenharia de Produção e Administração de Empresas, com ênfase em Planejamento e Controle da Produção, Qualidade, Logística, Gestão da Cadeia de Suprimentos, Gestão da Produção e Operações, Manufatura Enxuta, Economia, Administração de Empresas, Marketing e Gestão de Recursos Humanos.

Jorge Muniz Junior

Professor Associado na UNESP. Foi Coordenador do Mestrado Profissional em Engenharia de Produção (2013-2020), é Editor Associado da Revista Production. Possui doutorado em Engenharia pela UNESP, com tese premiada pela ABEPRO sobre Gestão do Conhecimento, e mestrado pela Escola Politécnica da USP em Engenharia de Produção. Atuou como executivo na Ford Motor Company e participa de grupo de pesquisa internacional em Sistemas Sociais e Manufatura Futura (Indústria 5.0) e Gestão do Conhecimento em Sistemas de Produção e Ensino e Treinamento de novas tecnologias.



Artigo recebido em: 22/01/2024 e aceito para publicação em: 04/09/2024

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v24i4.5144>