



De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial
na Gestão de Operações:
Limitações e possibilidades**

XXXI SIMPEP
www.simpep-feb.unesp.br

TEORIA DAS RESTRIÇÕES: APLICAÇÃO NA PRODUÇÃO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS PARA AUMENTO DA COMPETITIVIDADE

ABDIAS KELLY DE PAIVA NETO – abdiaspaiva@gmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC

ANTÔNIO WERBITON MARINHO ALMEIDA – werbiton@gmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC

HANDERSON BEZERRA FERREIRA – handersonbf89@hotmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC

CLÁUDIA BUHAMRA ABREU ROMERO – buhamra@ufc.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC

ÁREA: 6. ENGENHARIA ORGANIZACIONAL
SUBÁREA: 6.1 GESTÃO ESTRATÉGICA E ORGANIZACIONAL

RESUMO

A PRESENTE PESQUISA INVESTIGA A APLICAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES (THEORY OF CONSTRAINTS - TOC) EM UMA FABRICANTE DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS. POR MEIO DA APLICAÇÃO DA TOC, A EMPRESA PÔDE MELHORAR SUA EFICIÊNCIA OPERACIONAL, REDUZIR SEUS CUSTOS E AUMENTAR A SATISFAÇÃO DOS CLIENTES ATRAVÉS DA ENTREGA MAIS RÁPIDA E CONFIÁVEL DOS PRODUTOS. QUANTO À FORMA DE ABORDAGEM, TRATA-SE DE UMA PESQUISA EXPLORATÓRIA-DESCRITIVA, UTILIZANDO O ESTUDO DE CASO EM UMA TRADICIONAL EMPRESA FABRICANTE DE IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS LOCALIZADA NO NORDESTE BRASILEIRO. A COLETA DE DADOS SE DEU ATRAVÉS DE OBSERVAÇÃO NÃO PARTICIPANTE E ENTREVISTAS SEMIESTRUTURADAS. A PESQUISA ATENDEU AOS OBJETIVOS PROPOSTOS JÁ QUE INVESTIGOU COMO A EMPRESA ESTUDADA CONSEGUIU ELEVAR A EFICIÊNCIA NO GARGALO, NESTE CASO O SETOR DE SOLDAGEM, EM 14,28%, E AINDA A REDUZIR OS GASTOS COM HORAS EXTRAS, DEVIDO À OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS PRODUTIVOS APÓS A APLICAÇÃO DOS 5 PASSOS DE FOCALIZAÇÃO DA TOC, PROPOSTOS POR GOLDRATT. COMO SUGESTÃO PARA ESTUDOS FUTUROS, RECOMENDA-SE APLICAR A TEORIA EM OUTROS SUBSISTEMAS DA LINHA DE PRODUÇÃO.

Palavras-chave: TEORIA DAS RESTRIÇÕES; SETOR DE SOLDAGEM; MÁQUINAS AGRÍCOLAS.

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro se consolidou como um dos principais atores econômicos no país. Segundo o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - CEPEA (2024), em

2023 o agronegócio representou 23,8% do produto interno bruto (PIB) do Brasil, apesar da queda de 2,99% em relação a 2022.

Para Guth e Salvador (2017), o setor de máquinas e implementos agrícolas é significativo no cenário do agronegócio e que é composto por empresas de grande porte, geralmente fabricantes de máquinas, e empresas de menor porte (muitas de estrutura familiar) que são fabricantes ou comercializam implementos agrícolas.

Um estudo feito por Lima, Santos e Amato Neto (2017) comparou o desenvolvimento da indústria de máquinas e implementos agrícolas no Brasil, no período compreendido entre os anos de 1985 e 2015. O referido estudo apontou que o número de empresas fabricantes de máquinas e implementos agrícolas mais do que dobrou em 30 anos. Este crescimento teve uma concentração maior no mercado de implementos agrícolas, uma vez que as barreiras de entrada (investimento, tecnologia, entre outras) para esse mercado são menores quando comparado com a fabricação de tratores e colheitadeiras. Assim, as empresas que atuam no mercado de implementos agrícolas devem buscar se diferenciar de seus concorrentes para conseguir êxito em um meio tão concorrido.

Pacheco *et al.* (2012) defendem que, quando gerenciada de forma adequada, a função produção pode se tornar uma arma estratégica para as organizações, gerando vantagens competitivas. Bauer, Vargas e Sellitto (2015) afirmam que muitas organizações buscam melhorar continuamente seus sistemas de manufatura a fim de atender às crescentes demandas de prazo e qualidade, advindas do acréscimo de competitividade dos mercados consumidores.

Zanin e Rocha Neto (2006) defendem que quando o nível de concorrência é alto, o preço de venda a ser praticado é definido pelo próprio mercado, fazendo com que as empresas busquem alternativas gerenciais para melhorar a sua eficiência, objetivando redução de custos e maximização de suas margens de lucro. Os autores ainda complementam afirmando que tal objetivo pode ser atingido por ferramentas que maximizem o ganho em produtividade.

Metodologias de gestão da produção como o Lean Manufacturing, Six Sigma e a Teoria das Restrições (Theory of Constraints - TOC), para citar algumas, vêm sendo utilizadas como ferramentas para o aumento da eficiência nas mais diversas organizações, possibilitando a sobrevivência dessas empresas através do aumento da competitividade (Bauer, Vargas e Sellitto, 2015). Dentre essas metodologias, Zanin e Rocha Neto (2006) defendem que a TOC é bastante difundida nas empresas, uma vez que possui alta eficácia na solução de problemas no chão de fábrica das indústrias metalmeccânicas.

A unidade de pesquisa deste estudo é uma indústria metalmecânica fabricante de implementos agrícolas situada no Nordeste brasileiro. Atuando no mercado desde 1973, é referência no mercado de reboques agrícolas, possui 150 funcionários e atua em quatro das cinco regiões brasileiras. Um dos seus principais mercados consumidores está na região Sudeste, onde existem muitas outras empresas concorrentes atuando e o preço de venda é um critério ganhador de pedido. O frete se torna um grande obstáculo para a empresa estudada, já que está situada muito distante dos seus consumidores, e seus concorrentes estão instalados na mesma região onde ocorre a venda.

A estratégia adotada pela alta gestão da empresa foi aumentar o número de produtos enviados em um caminhão de 8 para 12 carretas, diluindo assim o valor do frete por produto. Contudo, esse valor está acima da quantidade de produtos que o departamento de fabril consegue produzir.

Desta forma, a pergunta norteadora deste trabalho é: como a Teoria das Restrições pode ser aplicada para aumentar a produtividade, reduzir os custos e aumentar a competitividade na produção de máquinas agrícolas? O objetivo geral do trabalho é investigar como a Teoria das Restrições pode ser aplicada para aumentar a produtividade, reduzir os custos e aumentar a competitividade na produção de máquinas agrícolas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Metodologias para aumento da produtividade

A partir dos anos 80, passou-se a dar grande importância à utilização de metodologias com suas características peculiares no campo da qualidade e gestão da produção, com o objetivo de otimizar a produtividade das organizações (Mingers; Brocklesby, 1997). São exemplos dessas metodologias o sistema Seis Sigma, o sistema Toyota de Produção, também denominado de *Lean Manufacturing* (LM) e a Teoria das Restrições (TOC), sendo constante a introdução de novas estratégias de operações, tendo em vista a complexidade e a maior competitividade em alguns segmentos (Sproull, 2009; Jayaram *et al.*, 2014).

Segundo Bauer, Vargas e Sellitto (2015), existem diversos pontos de convergência entre as referidas abordagens e mais pontos comuns do que de exclusão, podendo fornecer grandes saltos de desempenho para as organizações que já adotam as abordagens separadamente e todas convergem no objetivo potencial de se obter a redução de custos, melhoria da qualidade, flexibilidade e melhoria de desempenho.

Em que pese a importância das abordagens citadas, cada uma com seus objetivos, vantagens e desvantagens, tratada pormenorizadamente na seção seguinte. Não obstante, ainda que existem algumas diferenças, Dettmer (2001) indicou os seguintes pontos de similaridade entre a LM e a TOC: objetivo comum de aumentar lucros, valor definido pelo cliente, o fator qualidade como essencial, produção em lotes menores, fluxo contínuo e o aumento da capacidade, minimização do inventário, e a participação da força de trabalho em papel relevante no sucesso do desdobramento do método e das ferramentas.

Quanto às semelhanças relacionadas à Seis Sigma, Jin *et al.* (2009) destacam que apesar de serem filosofias diferentes, juntamente com a TOC, elas vêm sendo usadas por diversas indústrias em processos de melhoria, pois enquanto uma exige soluções em profundidade, a outra pode revelar os gargalos e elevá-los para possibilitar o aumento de produtividade, como será visto em detalhes a seguir.

2.2 Teoria das Restrições

A Teoria das Restrições (Theory of Constraints - TOC) é um paradigma de gestão que considera qualquer sistema como sendo limitado em alcançar mais do que suas metas básicas apenas por um número muito pequeno de restrições. Foi apresentada inicialmente por Eliyahu M. Goldratt em seu livro “A Meta”, publicado em 1984, como uma forma de gestão de sistemas baseada em gerenciamento dos gargalos ou restrições.

Segundo Quelhas e Barcaui (2008), o livro ainda desperta o interesse de diretores e gerentes das mais diversas áreas de atuação, especialmente no ambiente da manufatura, tornando-se leitura obrigatória em diversos cursos e universidades pelo mundo. Concebido em forma de romance, o livro relata detalhadamente métodos de melhoramentos em uma indústria com dificuldades em seus processos de produção, com o intuito de amenizar as dificuldades das organizações otimizando a capacidade produtiva por meio da maximização da utilização das restrições (Goldratt; Cox, 1993).

Um dos principais motivos para o sucesso da publicação é que a TOC possibilita um caminho para compreender as organizações visualizando-as não em partes isoladas, mas como um sistema integrado de elementos entre os quais há algum tipo de ligação, sendo essencial eliminar quaisquer tipos de restrições que impeçam um maior nível de produtividade, o que se torna especialmente importante em um ambiente cada vez mais competitivo e sem fronteiras, onde as empresas vêm sendo cada vez mais pressionadas a otimizar seus processos, diminuir custos e aumentar a produção, sob pena de perderem mercado (Quelhas; Barcaui, 2008).

Segundo Goldratt (1993), a restrição de um sistema nada mais é do que aquilo que o impede de atingir um desempenho maior em relação à sua meta, que, para as empresas com fins lucrativos, invariavelmente consiste na maximização do resultado financeiro

As respostas deverão ser obtidas em um profundo processo de raciocínio gerencial, com o intuito de alcançar o resultado através da superação de obstáculos. No entanto, deve-se levar em conta que nem tudo necessita ser mudado e que as melhorias dependerão da cultura organizacional, sabendo-se, ainda, que a ameaça do novo e desconhecido pode impactar na introdução de melhorias (Pozo *et al.*, 2009).

Apoiado nas perguntas acima e conhecendo a meta empresarial, o processo produtivo e a possível restrição, de modo que esta seja o ponto mais importante do processo, pode-se aplicar a TOC em um determinado sistema de produção (Cevey *et al.*, 2013). Para isso, Goldratt (2007) propõe os seguintes passos (ou etapas de focalização): 1) Identificar a restrição; 2) Decidir como explorar a restrição; 3) Subordinar e sincronizar todo o resto à decisão anterior; 4) Elevar a performance da restrição; 5) Se em qualquer um dos passos anteriores, a restrição principal for alterada, voltar ao primeiro passo.

Goldratt e Cox (2003) afirmam que por meio das cinco etapas de focalização citadas o processo de melhoria contínua se dá tendo em vista o esforço em abordar a restrição e trabalhar em seu benefício na eficiência da produção, tornando possível atacar apenas um determinado ponto que pode definir o desempenho de todo o sistema.

Utilizando-se os passos citados, pode-se extrair o principal benefício da TOC, que é sua ação preventiva e eficaz na eliminação das causas de restrições. Ademais, a teoria é aplicável em qualquer tipo de empresa e mercado, pois pode gerenciar a restrição que afeta o fluxo produtivo, subordinando todas as outras atividades à restrição e assegurando um aumento no valor adicionado (Pozo *et al.*, 2009).

Um outro conceito relacionado à TOC, importante para a presente pesquisa, é o da metodologia Tambor-Pulmão-Corda (TPC), originalmente apresentada no livro “A Meta” para otimização do planejamento, programação e controle da produção (Goldratt; Cox, 1993). Na prática, trata-se da operacionalização da definição dos volumes de produção a serem processados pelo gargalo (tambor), o tamanho do estoque de segurança (pulmão) que se pretende trabalhar e a quantidade de matéria-prima a ser liberada (corda) para o sistema, a fim de garantir o abastecimento e evitar interrupções (Torres; Costa, 2013).

2.3 Estudos anteriores

Para o alcance do objetivo do trabalho e como forma de robustecer a pesquisa, realizou-se uma revisão bibliográfica com o objetivo de dar suporte teórico aos achados e reunir conhecimentos que permitissem a modelagem e a aplicação dos conceitos da TOC em uma empresa fabricante de máquinas agrícolas. O Quadro 1 apresenta um resumo dos trabalhos visitados na revisão efetuada durante a pesquisa.

Quadro 1 – Estudos anteriores sobre a Teoria das Restrições.

Autores	Título	Objetivo	Resultados
Pegoraro <i>et al.</i> (2023)	Aplicação dos cinco passos da melhoria contínua da Teoria das Restrições em uma indústria de cal	Apresentar os resultados da aplicação dos cinco passos de melhoria contínua da Teoria das Restrições (TOC) no processo produtivo de uma indústria de cal na região sul do estado Tocantins com o intuito de aumentar sua capacidade produtiva.	Após a exploração da restrição verificou-se que a empresa dispõe de recursos para aumentar a capacidade de produção dos silos. Com as sugestões, a capacidade dos silos passou de 2,91 toneladas por hora para 5,82 toneladas por hora.
Barchinski <i>et al.</i> (2023)	Análise do processo de produção de mostruário em uma indústria têxtil do Sul de Santa Catarina	Analisar o processo produtivo do mostruário de uma indústria têxtil do extremo sul de Santa Catarina.	Conseguiu-se analisar o processo produtivo das ordens de mostruário, de uma empresa do setor de vestuário do sul de Santa Catarina, através da coleta e análise dos leads times, e da elaboração do mapeamento de processo, em que assim se conseguiu distinguir o gargalo produtivo e se fez propostas de melhorias.
Sousa <i>et al.</i> (2021)	Benefícios da Teoria das Restrições para a gestão da produção de uma indústria de panificação	Identificar os benefícios obtidos com a aplicação da Teoria das Restrições na gestão da produção do setor de pães artesanais de uma indústria de panificação de pequeno porte.	O resultado demonstrou que a aplicação dos cinco passos da TOC permite uma visualização sistêmica de todo o processo produtivo e a identificação dos gargalos que restringem o processo.
Pavan <i>et al.</i> (2016)	Uma revisão sobre a aplicação da Teoria das Restrições (TOC) para identificação de melhorias em um centro de distribuição	Verificar a aplicação da Teoria das Restrições, em especial a etapa 1, como instrumento de gestão para identificar quais os gargalos que impedem a expansão e crescimento de uma empresa de distribuição de produtos de bens de consumo.	Dentre as alternativas identificadas como solução para a exploração do recurso restrição, algumas foram consideradas adequadas, porém são consideradas como alternativas que demandam altos investimentos ou que trarão aumento do custo fixo.
Souza e Pires (2014)	Produzindo para disponibilidade: uma aplicação da Teoria das Restrições em ambientes de produção para estoque	Apresentar a forma pela qual a Teoria das Restrições vem recentemente tratando a gestão de ambientes de produção para estoque.	O artigo se limitou a apresentar alguns conceitos básicos sobre a aplicação do TPC-S (Tambor-Pulmão-Corda Simplificado) em ambientes MTS (Make to Stock).
Torres e Costa (2013)	Teoria das Restrições (TOC): Caso de aplicação em uma empresa de confecção	Apresentar uma modelagem sobre a aplicação da TOC em um sistema de produção de uma confecção.	Os resultados obtidos permitiram identificar e elevar os gargalos de produção, além de possibilitar a escolha da opção mais adequada para a configuração do sistema de produção.

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Detectou-se que vários autores já se debruçaram no sentido de entender a produção científica fundamentada acerca da TOC, contudo, com diferentes objetivos, áreas de interesse e contextos quando comparados à presente pesquisa.

3 METODOLOGIA

Quanto ao objetivo, classificou-se esta pesquisa como exploratória-descritiva. Acevedo e Nohara (2006, p. 46) definem que o principal objetivo da pesquisa exploratória é “proporcionar maior compreensão do fenômeno que está sendo investigado, permitindo, assim, que o pesquisador delineie de forma mais precisa o problema”. Já para Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa se caracteriza como descritiva quando o pesquisador observa, registra, analisa, classifica e interpreta os dados procurando descrever as características de determinada população ou fenômeno.

Também pode ser caracterizado como pesquisa descritiva por analisar os dados obtidos através de observações e análise documental, a fim de descrever as características do processo de produção para propor melhorias. O estudo tem abordagem qualitativa, já que não utiliza ferramentas estatísticas para a realização da análise de dados.

A coleta de dados se deu através de observação não participante, que, para Ferreira, Torrecilha e Machado (2012), caracteriza-se quando o pesquisador tem um papel de espectador do objeto observado e os participantes não sabem que estão sendo observados, para que o pesquisador contemple a situação como ela realmente ocorre.

Além disso, também foi utilizada uma entrevista semiestruturada com o diretor geral da empresa e o gerente de produção, que Gray (2012) define como não padronizadas, onde o entrevistador tem a liberdade para conduzir a entrevista de forma a permitir o aprofundamento das visões e das opiniões dos respondentes onde julgar necessário. Nesta entrevista, abordou-se o processo de aplicação da TOC para aumento da competitividade da empresa, passando por como foi identificada a necessidade, o motivo pelo qual a metodologia foi escolhida e como se deu a sua aplicação. Além disso, caracterizou-se a empresa, discorrendo sobre sua história, processo produtivo e mercado onde está inserida.

Em posse dos dados coletados, foi possível descrever o processo de aplicação da TOC na empresa e analisar se as ações tomadas foram efetivas para o aumento de competitividade no mercado estudado.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 A empresa e o processo

O presente trabalho foi desenvolvido em uma tradicional empresa fabricante de implementos agrícolas localizada no Nordeste brasileiro, que possui 50 anos de atuação no mercado nacional de equipamentos agropecuários. De acordo com o gerente de produção, a empresa estudada possui 3 linhas principais de produtos: carretas agrícolas, máquinas para colheita e máquinas para o preparo de solo. Desses, a linha de carretas se destaca, com mais de 80% de participação no faturamento e com uma produção média de 210 produtos por mês. Possui um quadro com cerca de 150 funcionários, onde 47% desses estão diretamente ligados à produção, 36% são de setores que apoiam a produção (como manutenção e controle de qualidade) e os outros 17% exercem atividades administrativas.

O diretor informou que a empresa atende 21 estados brasileiros, além de também possuir atuação no mercado externo, com exportações para a América Latina e África. No mercado nacional, a região Nordeste lidera o ranking de vendas, com 48,86% de participação, seguida do Sudeste com 40,61%, Norte com 8,16% e Centro-oeste 2,37%. O mercado de reboques agrícolas é muito acirrado, principalmente na região Sudeste, onde o preço de venda é comumente ditado pelo mercado, cabendo às empresas o desafio de melhorar sua eficiência para conseguir vender e se manter lucrativa. Ainda sobre o Sudeste, a empresa estudada enfrenta mais um desafio: a distância geográfica entre a fábrica e seus clientes. Além de estar situada no Nordeste e ter que investir mais em frete para oferecer seus produtos, existe o fato que a maioria de seus concorrentes estão localizadas ou no estado de São Paulo ou do Paraná.

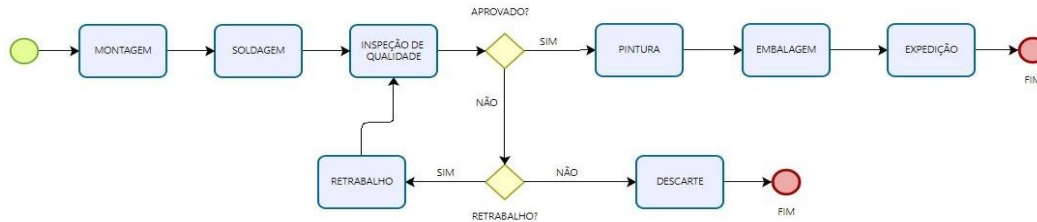
Ainda na entrevista, o diretor geral informou que, visando o aumento de competitividade, a empresa adotou a estratégia de aumentar o tamanho dos caminhões que levavam os produtos, aumentando assim a quantidade expedida e diluindo o valor do frete, diminuindo os custos para conseguir manter a margem com o preço alvo. Desta forma, a quantidade de carretas produzida por dia, teria que aumentar de 8 para 12 unidades.

Contudo, o setor de produção estava tendo dificuldade com esse aumento de demanda, passando a existir atraso na expedição, apesar de ter aumentado a quantidade de horas extras feitas. A carreta é composta por subsistemas: chassi, caçamba, grades, eixos e içamentos. Dentre esses, apenas o subsistema de caçamba não era capaz de atender ao acréscimo de demanda, sendo o motivo dos atrasos.

4.2 Aplicação dos conceitos de TOC

Visando resolver o problema do aumento de produção, aplicou-se os 5 métodos de focalização propostos por Goldratt (2007) no âmbito da TOC. Através dos dados levantados pela observação não participante e a entrevista semiestruturada, desenhou-se o processo atual no software Bizagi seguindo a notação BPMN, como pode-se observar na Figura 1.

Figura 1 – Processo atual



Fonte: elaborado pelos autores (2024).

A Figura 1 trata do macroprocesso da fabricação da caçamba, subsistema que compõe a carreta. A primeira etapa, a montagem, é realizada por uma dupla de soldadores e o trabalho consiste em posicionar as peças individuais em um dispositivo, chamado gabarito, que serve para garantir a montagem de acordo com as especificações do projeto. É com o gabarito que a produção consegue ter escalabilidade. Na montagem, o soldador aplica pontos de solda para unir as peças montadas. O tempo para fazer uma caçamba nesse processo é de 55 minutos.

Após a montagem, a caçamba segue para o processo de soldagem. Também feito em dupla, é onde os cordões de solda são aplicados, de acordo com as especificações do projeto. Os cordões de solda podem chegar a 4 metros de comprimento, por isso uma dupla leva 2 horas e trinta minutos para realizar a solda em uma caçamba.

Após isso, é feita uma inspeção de qualidade, a fim de atestar se os cordões de solda estão adequados, bem como se existe alguma falta de solda. Se reprovado, a caçamba segue para ser retrabalhada e posteriormente passa novamente por inspeção. O inspetor finaliza sua atividade em 20 minutos. Destaca-se que o inspetor também é responsável pelos outros subsistemas fabricados no setor.

Se aprovada, a peça segue para a etapa de pintura. Nessa etapa, a peça é lixada, lavada e tem sua superfície preparada para receber a pintura. A pintura é feita com tinta de poliuretano. Após a pintura, a peça segue para embalagem e expedição. Ao todo são necessárias 3 pessoas para realizar todo o processo, que leva 40 minutos para ser feito.

A fábrica trabalha em um regime de 44 horas semanais, trabalhando 9 horas diárias de segunda a quinta e 8 horas no sábado. Na tabela 2 podemos ver um resumo das informações descritas acima:

Tabela 1 – Dados de processo

	Nº colaboradores	Tempo de Ciclo	Qtd/dia
Montagem	2	55 min	9,6
Soldagem	2	2h30min	3,5
Inspeção	1	20min	27
Pintura	3	40min	13

Fonte: elaborada pelos autores (2024).

Após a análise do processo, pode-se constatar que o gargalo da fabricação de caçambas está localizado na etapa de soldagem, uma vez que possui o maior tempo de ciclo do processo e, conseqüentemente, entrega menos produtos do que os demais processos. E assim foi realizado o primeiro passo de focalização.

Seguindo a metodologia, o segundo passo de focalização consiste em decidir como irá explorar a restrição. A demanda diária foi elevada de 8 para 12 carretas e, segundo visto anteriormente, uma dupla consegue, no máximo, produzir 3,5 caçambas por dia. Ao total, a empresa dispõe de 3 duplas de solda, ou seja, o máximo produzido é 10,5 caçambas por dia. É comum que os soldadores façam horas extras para conseguir aumentar a quantidade produzida, o que não é a realidade dos montadores.

A montagem é, aproximadamente, 3 vezes mais rápida que a solda. Isso ocasiona um alto estoque de caçambas entre os processos. Não importa que a montagem consiga entregar a quantidade demandada, já que a saída é restringida pelo gargalo, a soldagem. Como resultado tem-se uma fábrica com elevado estoque de produtos em elaboração, gasto com hora extra e ainda atraso nas entregas.

O terceiro passo de focalização consiste em subordinar e sincronizar todo o processo ao gargalo. Para isso, aplicou-se o método TPC (tambor, pulmão e corda) ao processo, para adequar o ritmo do processo ao ritmo do gargalo.

A primeira etapa do TPC é estabelecer que o gargalo é o tambor, o que significa que o processo de solda dita o ritmo a ser seguido pelos demais processos. Por ser o setor menos produtivo, o tempo disponível para a soldagem deve ser isento de ineficiências: o gargalo deve estar sempre produzindo. Para garantir isso, estabeleceu-se um estoque pulmão, entre a montagem e a soldagem, de 3 caçambas. A montagem só poderia liberar mais uma caçamba para o estoque intermediário, quando a solda liberasse uma caçamba para a inspeção de qualidade e iniciasse a soldagem de uma caçamba que estava no estoque, e assim foi estabelecido a corda do processo. Enquanto isso, os montadores deveriam auxiliar os soldadores, aumentando assim a produtividade no gargalo.

Através da observação e estudo do processo, foi identificado que alguns cordões de solda poderiam ser realizados ainda no gabarito de montagem. Essa realocação de atividade foi essencial para elevar a produtividade na restrição, como manda o quarto passo de focalização da metodologia. Após essa redistribuição de atividades, o processo passou a ter outros tempos, como se pode observar da tabela 2:

Tabela 2 – Dados de processo após rearranjo

	Nº colaboradores	Tempo de Ciclo	Qtd/dia
Montagem	2	1h10min	7,5
Soldagem	2	2h10min	4
Inspeção	1	20min	27
Pintura	3	40min	13

Fonte: elaborada pelos autores (2024).

Nem todos os cordões de solda poderiam ser realizados na montagem, por limitações do gabarito. O rearranjo de atividades ocasionou um aumento de 15 minutos no tempo de montagem e reduziu a quantidade de caçambas montadas para 4 por dia. Contudo, diminuiu o tempo de processo da solda em 20 minutos, o que elevou para quatro a quantidade de caçambas soldadas por dia.

Ao aumentar a capacidade no gargalo, aumentou-se a capacidade geral no processo. Com as três duplas de solda, foi possível atingir a demanda diária de 12 caçambas, um aumento de 14,28% na produção e consequente redução nos gastos com horas extras. Mesmo com essa alteração, o setor de solda continuou sendo o gargalo, e o TPC continuou sendo aplicado, quando necessário. Reduziu-se também a quantidade de estoque intermediário, melhorando, dentre outras coisas, a circulação no interior da fábrica.

4.3 Análise e discussão dos resultados

A necessidade de aumento de produção para manter-se competitiva em um mercado importante foi a principal motivação para a otimização do processo produtivo, o que corrobora com o que Quelhas e Barcaui (2008) escreveram, já que a empresa aumentou sua produção diária, visando a diminuição do custo de frete, uma vez que mandava mais produtos por carregamento.

A aplicação dos passos de focalização, conforme propostos por Goldratt (2007), resultou no aumento de eficiência no gargalo, a etapa de soldagem da caçamba, e, consequentemente, levou a um aumento de 14,28% na produção diária de caçambas da empresa, atingido o objetivo estabelecido de 12 produtos por dia.

Além disso, a aplicação do TPC estabeleceu uma nova dinâmica no processo produtivo, de forma a garantir que não haja interrupção na soldagem, sempre havendo caçambas montadas, e que, quando necessário, os montadores auxiliem na solda de peças ao invés de montar mais caçambas e gerar mais estoque intermediário. Tal ação está de acordo com as afirmações de Torres e Costa (2013), que estabelecem que o objetivo do TPC é evitar interrupções no gargalo.

As alterações de processo implantadas durante o presente estudo foram simples e não demandaram investimento, ao contrário das ações propostas no trabalho de Pavan et al. (2016), onde demandariam tempo para serem implantadas, bem como aumentaria os custos fixos do processo. Já estudo proposto por Moellmann et al. (2006) conseguiu um aumento de produtividade com ações mais simples e sem impacto financeiro.

5 CONCLUSÕES

A aplicação da Teoria das Restrições (TOC) na produção de máquinas agrícolas revelou-se uma estratégia eficaz para aumentar a competitividade das empresas no setor. Através da identificação e gestão das restrições, foi possível otimizar os processos produtivos, reduzir desperdícios e aumentar a eficiência operacional.

A pesquisa atendeu aos objetivos propostos, elevar a eficiência no gargalo, neste caso o setor de soldagem, em 14,28% e ainda a redução nos gastos com horas extras, devido à otimização dos processos produtivos são objetivos da empresa, já que, após a aplicação dos 5 passos de focalização da TOC, propostos por Goldratt, conseguiu-se elevar a eficiência no gargalo, neste caso o setor de soldagem e ainda a redução nos gastos com horas extras, com a otimização dos novos métodos.

A primeira etapa consistiu em identificar os gargalos na linha de produção. Este diagnóstico permitiu um entendimento claro de onde estavam as principais limitações que impediam o aumento da produtividade. Após identificar as restrições, foi necessário explorá-las ao máximo, garantindo que os recursos fossem direcionados de maneira eficiente para mitigar os impactos desses gargalos.

Todos os outros processos foram ajustados para se subordinar à restrição identificada. Isso envolveu a realocação de recursos, ajustes nos horários de produção e modificações no fluxo de trabalho para garantir a máxima eficiência. Implementaram-se mudanças significativas, como a atualização de equipamentos e a implementação de novas tecnologias, para elevar ou eliminar as restrições.

A TOC é um processo contínuo de melhoria. Assim, após resolver uma restrição, o ciclo recomeça para identificar e tratar a próxima. A otimização dos processos permitiu um aumento significativo na produção de máquinas agrícolas, sem a necessidade de grandes investimentos em novos recursos, e sim de uma nova realocação, a gestão eficiente das restrições resultou em menor desperdício de materiais e tempo, reduzindo os custos operacionais. Com a TOC, foi possível garantir um controle de qualidade mais rigoroso, resultando em produtos com maior confiabilidade e durabilidade, melhorias nos processos produtivos e a redução de custos permitiram que a empresa competisse de maneira mais eficaz no mercado, oferecendo produtos de alta qualidade a preços competitivos.

A TOC proporciona uma estrutura que permite às empresas identificar e eliminar os principais gargalos em seus processos produtivos, o que resulta em um fluxo de trabalho mais suave e eficiente. A adaptação contínua, é fundamental para o sucesso a longo prazo, garante que a empresa permaneça competitiva e capaz de responder rapidamente às mudanças no mercado e às novas tecnologias. Por fim, a abordagem sistemática e focada da TOC ajuda as empresas a não apenas sobreviverem em um mercado competitivo, mas também a prosperarem, tornando-se líderes em inovação e eficiência na produção de máquinas agrícolas.

REFERÊNCIAS

ACEVEDO, C. R.; NOHARA, J. J. **Monografia no curso de Administração: guia completo de conteúdo e forma**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

AGUIAR, Giancarlo F.; PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre R. **Simulações de arranjos físicos por produto e balanceamento de linha de produção: O estudo de um caso real no ensino para estudantes de engenharia**. 2007. 15 f. Tese (Doutorado) -Curso de Engenharia, Centro Universitário Positivo, Núcleo de Ciências Exatas e Tecnológicas, Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/12/artigos/117-Jurandir%20Peinado.pdf>>. Acesso em: 19 maio 2024.

BARCHINSKI, C. C.; ALVES, J. C. C.; BRISTOT, V. M.; GUIMARÃES, M. L. F.; GUIMARÃES FILHO, L. P. Análise do processo de produção de mostruário em uma indústria têxtil do Sul de Santa Catarina. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, [S. l.], v. 21, n. 8, p. 9380–9400, 2023. Disponível em: <<https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/425>>. Acesso em: 19 maio 2024.

BAUER, J. M.; VARGAS, A.; SELBITTO, M. A. Comparação entre a teoria das restrições, a manufatura enxuta e a abordagem seis sigma. **Revista Científica Linkania Master**, v. 5, n. 1, 24 maio 2015.

CEPEA - Centro de Pesquisa Avançada em Economia Aplicada. **O Cepea calcula o PIB do Agronegócio com apoio financeiro da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA)**. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 26 mai. 2024.

CEVEY, M. de J. et al. Teoria das restrições: um estudo de caso em uma indústria de produção em série. **Unoesc & Ciência** - ACSA, [S.l.], v. 4, n. 2, p. 253, nov. 2013. Disponível em: <<http://editora.unoesc.edu.br/index.php/acsa/article/view/3704>>. Acesso em: 19 maio 2024.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N. (1996) Just in Time, MRP II e OPT: **um enfoque estratégico**. Atlas S.A: São Paulo.

DETTMER, W. Beyond Lean Manufacturing: Combining Lean and the Theory of Constraints for Higher Performance. **Port Angeles: Goal System International**. Disponível em: <<http://www.goalsys.com/books/documents/TOCandLeanPaperrev.1.pdf>> Acesso em: 25 maio 2024.

GOLDRATT, E. M.; COX J. **A Meta**: Um processo de aprimoramento contínuo. São Paulo: Educator, 1993.

GOLDRATT, E. M. **The theory of constraints and its thinking processes**: a brief introduction to TOC. Connecticut: Goldratt Institute, 2007.

GUPTA, M. C.; BOYD, L. H. Theory of constraints: a theory for operations management. **International Journal of Operations & Production Management**. v. 28, n. 9-10, p. 991-1012. 2008.

GUTH, S. C.; SALVADOR, A. B. **Características da formação do preço de venda no segmento comercial de implementos agrícolas**. Estudos do CEPE, n. 45, p. 18-34, 2017.

GRAY, David E; SILVA, Dirceu da. **Pesquisando, revisando e usando a bibliografia**. In:_____. Pesquisa no Mundo Real. 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2012. cap. 5, p. 84-106.

JAYARAM, J.; TAN, K.C.; LAOSIRIHONGTHONG, T. The contingency role of business strategy on the relationship between operations practices and performance, **Benchmarking: An International Journal**, v.21, n. 5, p. 690-712, 2014.

LIMA, V. A.; SANTOS, I. C.; AMATO NETO, J. A indústria de máquinas agrícolas no Brasil: uma análise evolucionária no período de 1985-2015. In: XVII Congresso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica. **Anais...** Ciudad de México: ALTEC, 2017.

MINGERS, J; BROCKLESBY, J. Multimethodology: Towards a framework for mixing methodologies, **Omega**, v. 25, n.5, p. 489-509, 1997.

MOELLMANN, A. H. *et al.* Aplicação da Teoria das Restrições e do indicador de eficiência global do equipamento para melhoria de produtividade em uma linha de fabricação. **Revista Gestão Industrial**, v. 2, n. 1, 1 jun. 2006.

PACHECO, D. A. J.; LUZ, D. F.; ROCHA, E. A. M; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. Uma análise crítica entre a teoria das restrições e o lean manufacturing. In: **ENEGEP - Encontro**

Nacional de Engenharia de Produção, 32, 2012, Bento Gonçalves. Anais. Bento Gonçalves: ABEPRO, 2012.

PAVAN, A. *et al.* **Uma revisão sobre a aplicação da teoria das restrições (TOC) para identificação de melhorias em um centro de distribuição.** Disponível em: <https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_WPG_226_316_29675.pdf>. Acesso em: 19 maio 2024.

PEGORARO, F.; DA SILVA, S.; GOMES, S. T. M.; BORGES, J. C. M.; DE SOUSA, S. F.; DE MELO, M. P.; RANK, R. C. I. C.; POLETO, K. Q. Aplicação dos cinco passos da melhoria contínua da teoria das restrições em uma indústria de cal. **Revista de Gestão e Secretariado**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 2576–2592, 2023. Disponível em: <<https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/1731>>. Acesso em: 19 maio 2024.

POZO, H.; TACHIZAWA, E. T. T.; PICCHIAI, D. The theory of constraints and the small firm: an alternative strategy in the manufacturing management. **RAI - Revista de Administração e Inovação**, São Paulo, v. 6, n. 3, p. 05-25, set/dez. 2009.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** 2a ed. Novo Hamburgo: Universidade FEEVALE, 2013.

QUELHAS, O.; BARCAUI, A. B. **A teoria das restrições aplicada à gerência de projetos: uma introdução à corrente crítica.** [2008]. Disponível em: <www.pmttech.com.br/newsletter/Marco_2005/TOC_e_CCPM_em_GP.pdf>. Acesso em: 19 maio 2024.

SOUSA, C. S. G. *et al.* Benefícios da Teoria das Restrições para a gestão da produção de uma indústria de panificação. **Administração de Empresas em Revista**, [S.l.], v. 1, n. 23, p. 343 - 373, mar. 2021. Disponível em: <<https://revista.unicritiba.edu.br/index.php/admrevista/article/view/4200>>. Acesso em: 19 maio 2024.

SOUZA, F. B. DE.; PIRES, S. R. I. Produzindo para disponibilidade: uma aplicação da Teoria das Restrições em ambientes de produção para estoque. **Gestão & Produção**, v. 21, n. 1, p. 65–76, jan. 2014.

SPROULL, B. **The ultimate improvement cycle: maximizing profits through the integration of Lean, Six Sigma, and the Theory of Constraints.** Boca Raton, FL, Taylor & Francis Group, 2009.

TORRECILHA, N. FERREIRA, L. B.; MACHADO, S. H. S. **A técnica de observação em estudos de administração EnANPAD**, RIO DE JANEIRO, 2012.

TORRES, F. G.; COSTA, H. G. Teoria das Restrições (TOC): Caso de aplicação em uma empresa de confecção. **Revista Gestão Industrial**, v. 9, n. 2, 16 ago. 2013.
ZANIN, A.; NETO, A. R. Teoria das restrições (TOC) - Uma proposta de utilização na indústria metal mecânica. **Anais do Congresso Brasileiro de Custos - ABC**, 2006.