

APLICAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES (TOC) EM UMA CÉLULA DE PRODUÇÃO UTILIZANDO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO

APPLICATION OF THEORY OF CONSTRAINTS (TOC) IN A PRODUCTION CELL USING SIMULATION SOFTWARE

Cristian dos Santos Ceccagno¹, Anderson Hoose², Nilo Alberto Scheidmandel³

¹Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Curso de Engenharia de Produção, BR 285, Bairro São José, 99052-900 – Passo Fundo – RS – Brasil. E-mail: 154269@upf.br

²Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Curso de Engenharia de Produção, BR 285, Bairro São José, 99052-900 – Passo Fundo – RS – Brasil. E-mail: andersonhoose@upf.br

³Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Curso de Engenharia de Produção, BR 285, Bairro São José, 99052-900 – Passo Fundo – RS – Brasil. E-mail: nilo.scheidmandel@upf.br

RESUMO

A competição das empresas por participação no mercado tem confrontado os ambientes fabris com vários problemas que acabam limitando os seus ganhos. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo aplicar a Teoria das Restrições em uma célula de manufatura com o uso de um software de simulação. O trabalho foi desenvolvido em uma empresa da região com atuação no setor industrial. A metodologia do trabalho tem um delineamento quantitativo, com objeto de estudo em uma célula de produção de uma indústria de máquinas e implementos agrícolas, que foi escolhida de forma intencional devido ao alto índice de atrasos de entrega. Fez-se o uso da ferramenta de simulação computacional para prever os gargalos dentro do ambiente fabril, através da aplicação dos cinco passos da Teoria das Restrições. Com a correta inserção dos dados no software, foram encontrados indicadores que possibilitaram a análise de vários cenários. Entre eles destaca-se principalmente o início do atendimento da demanda mensal, a redução dos custos operacionais, redução de 88,24% do volume de estoque, aumento de 55,51% da capacidade produtiva do gargalo inicial.

Palavras-chave: teoria das restrições, fluxo de produção, simulação computacional, chão de fábrica.

ABSTRACT

The competition of companies for market share has confronted manufacturing environments with several problems that end up limiting their earnings. In this sense, this work aims to apply the Theory of Constraints in a manufacturing cell using simulation software. The work was carried out in a company in the region that operates in the industrial sector. The work methodology has a quantitative design, with the object of study in a production cell of an agricultural machinery and implements industry, which was intentionally chosen due to the high rate of delivery delays. The computer simulation tool was used to predict bottlenecks within the manufacturing environment, through the application of the five steps of the Theory of Constraints. With the correct insertion of data in the software, indicators were found that enabled the analysis of various scenarios. Among them, the main highlight was the beginning of meeting monthly demand, the reduction in operating costs, the 88.24% reduction in inventory volume, and the 55.51% increase in the production capacity of the initial bottleneck.

Keywords: theory of constraints, production flow, computer simulation, shop floor.

1. INTRODUÇÃO

Existe uma elevada competição das empresas por participação no mercado, onde se busca maximizar os ganhos. Neste contexto, as organizações têm se confrontado com vários problemas que acabam limitando sua participação no mercado. As limitações podem estar ligadas a qualidade dos produtos, prazos de entrega, custos entre outros.

Para Goldratt (2014), a organização obterá um aumento em seu ganho e redução em seu inventário, bem como em seu custo operacional, quando identificar quais operações dentro do processo limitam sua capacidade de igualar o fluxo produtivo com a sua demanda. Seria necessário otimizar o trabalho destas operações até que as mesmas estejam niveladas ou até mesmo um pouco superior a demanda.

A Teoria das Restrições (TOC - *Theory Of Constraints*) pode oportunizar uma otimização dos processos produtivos da organização, buscando o aumento dos ganhos ou fornecer propostas para aprimorar a gestão com um todo, pois a principal visão da TOC é o “ótimo global”, visto que este vai ser o responsável pelo maior ganho da organização (Alves et al., 2010).

O motivo da realização deste trabalho, em uma célula de manufatura, é devido aos atrasos de produção. Inicialmente, identifica-se o gargalo produtivo através dos dados obtidos e inseridos no software de simulação computacional e conseqüentemente haverá a submissão de todo o sistema ao gargalo (Goldratt, 2014). Após obter um aumento de sua capacidade, identifica-se o próximo gargalo, até que o sistema consiga atingir a demanda solicitada.

Com essa problemática, tem-se a questão da pesquisa: ao aplicar a metodologia da TOC com auxílio da simulação computacional é possível aumentar o ganho, reduzir o custo operacional e do inventário?

Observa-se que há vários trabalhos nesta área de estudos, abordando diversos aspectos, como “uma reflexão teórica a respeito dos possíveis impactos nos indicadores da Teoria das Restrições (TOC) provocados pelas Sete Perdas abordadas no Sistema Toyota de Produção (STP) e por um tipo de perda não relatada neste contexto” (Pergher; Rodrigues; Lacerda, 2011, p. 673). Apresentar os motivos pelos quais o uso da TOC vem crescendo nos ambientes de gestão de estoques (Da Souza; Pires, 2014). E ainda, a análise dos pontos de convergência e divergência entre a TOC o Seis Sigma e o *Lean Manufacturing* na visão da melhoria contínua operacional dos sistemas produtivos (Pacheco, 2014).

Este trabalho tem o objetivo de aplicar a TOC em uma célula de manufatura com o uso de um software de simulação discreta. O trabalho foi desenvolvido em uma empresa da região com atuação no setor industrial, no ramo de máquinas e implementos agrícolas. A importância do trabalho está em identificar a restrição do sistema e promover o nivelamento do sistema no processo produtivo, visando obter uma maior produtividade da linha de produção, conseqüentemente reduzir o tempo de espera nos postos de trabalho e o nível de estoque entre os processos, sendo estes os pilares da TOC apresentados no livro “A Meta” (Goldratt, 2014).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Teoria das restrições

A TOC é um conceito que surgiu por volta de 1980, como proposta de impulsionar positivamente os resultados de uma organização, sendo constituído por cinco passos para sua implantação: 1) identificar as restrições do sistema; 2) decidir como explorar as restrições; 3) subordinar os demais recursos ao ritmo da restrição; 4) elevar a restrição; 5) quando o recurso restritivo aumentar voltar ao passo 1 (Goldratt, 2014).

Em seu outro livro, Goldratt (2010) compara os sistemas de produção de Ford e o STP (Sistema Toyota de Produção) de Shingo e Ohno, quando estes são aplicados em outras indústrias, e relata sobre a falha desses sistemas em melhorar o desempenho das organizações, uma vez que estes modelos não são viáveis em muitos ambientes de indústrias, trazendo como exemplo o caso da empresa *Hitachi Tool Engineering*.

Os conceitos apresentados por Goldratt (2014) são resumidos em três medidas que refletem o desempenho da organização, sendo elas: ganho, inventário e custo operacional. A meta da organização é o ganho. Tanto o inventário quanto o custo operacional são debitados do valor de ganho, ou seja, para

a empresa alcançar suas metas, um gasto maior com custo operacional ou inventário só é aceito com um aumento de ganho superior ao valor investido.

2.2. Os cinco passos da teoria das restrições

Visando atingir a meta nas indústrias, Goldratt (2014) menciona que a TOC é constituída por cinco passos, que também são citados por Mahesh e Boyd (2008), como sendo:

Passo 1) Identificar a(s) restrição(ões) do sistema: as restrições podem ser internas ou externas quando a demanda total de um dado mix de produtos é maior do que a capacidade da fábrica, diz-se que se tem um gargalo de produção. Trata-se de uma questão estrutural do sistema produtivo;

Passo 2) Explorar da melhor forma possível a(s) restrição(ões) do sistema: caso a restrição é interna à Fábrica, ou seja, se existe(m) gargalo(s), a melhor decisão consiste em maximizar o ganho no(s) gargalo(s);

Passo 3) Sujeitar todos os demais recursos à decisão tomada no passo 2: o fundamento deste passo, neste caso não há diferença entre restrição interna ou externa, mas vale o foco de reduzir ao máximo os inventários e as despesas operacionais, em contrapartida de aumentar o ganho da organização, sendo essa consequência direta do passo 2;

Passo 4) Elevar a capacidade da(s) restrição(ões): se a restrição for interna (gargalo) a ideia consiste em agregar a capacidade de produção dos mesmos;

Passo 5) Voltar ao passo 1, não deixar que a inércia tome conta do sistema: esta etapa parte da proposição de que após devidamente explorada e elevada a restrição, surgirá uma nova restrição no processo produtivo, sendo interna ou externa.

2.3. Simulação computacional

O uso de simulações de eventos discretos prosperou, segundo Karnon et al. (2012), por volta dos anos 50 e 60, em atividades voltadas para a pesquisa operacional e engenharia industrial. Mas atualmente acabou sendo aprimorado e por consequência é uma ferramenta avançada para analisar diversos sistemas.

Dentre os diversos softwares de simulação computacional, está o FlexSim. Segundo a FlexSim (2018), o software foi construído e desenvolvido totalmente do “zero” para ter um novo modo de visualização em três dimensões (3D), com a possibilidade de gerar objetos em um mundo virtual. Assim, relacionando os modelos criados com os reais e tendo uma noção de tempo e espaço dos mesmos. Esse software é conhecido pela sua facilidade de uso, apresentando ferramentas de simples utilização, menus *drop-down* e funcionalidades de arrastar e soltar, que permitem aos iniciantes construir e testar os modelos sem nenhuma experiência em códigos de programação.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para encontrar uma proposta viável e confiável através da TOC e do uso do software FlexSim, tem um delineamento quantitativo, com realização da simulação computacional e análise de cenários.

O objeto de estudo é uma indústria metal mecânica situada na região norte do estado do Rio Grande do Sul. A linha de produção do estudo, foi escolhida de forma intencional, pois apresentava constantes atrasos de produção, altos níveis de estoques e baixos ganhos. Foram analisados os seguintes dados do processo:

- a) Demanda da empresa;
- b) Quantidade de peças;
- c) Tempo disponível e capacidade produtiva atual;

d) Tempo de processo para cada peça.

A lógica utilizada foi a pesquisa-ação, a qual se representa por uma produção de conhecimento com remodelação proposital de uma dada realidade (Mello et al., 2012). Efetivamente, a pesquisa teve um cunho transformador no setor de solda da empresa, coexistente com o estudo apropriado sobre o tema e sua forma de aplicação e gerenciamento. Segundo Thiollent (2007), é fundamental que a ação seja não comum, ou seja, uma problemática que mereça uma investigação sobre a perspectiva científica. Empiricamente, a atividade exigiu profundo entendimento dos processos, o qual foi suportado pelo prisma da pesquisa-ação em mescla com a teoria das restrições.

Ainda segundo Thiollent (2007), o arranjo da pesquisa-ação é fragmentado em cinco passos: 1) planejar a pesquisa-ação; 2) coletar dados; 3) analisar dados e planejar ação; 4) implementar ações e 5) avaliar resultados e gerar relatório. A Figura 1, demonstra tais passos, constituindo-se no arranjo base da metodologia.



Figura 1 – Etapas da metodologia.

Na sequência são descritas as etapas que foram seguidas para realizar a proposta de melhoria da célula de produção que foi analisada:

Etapa 1) Revisar a literatura sobre a teoria das restrições: inserir o case na filosofia da TOC, de acordo com todos os passos necessários para a realização da melhoria;

Etapa 2) Realizar a análise da situação atual da célula de manufatura: analisar a situação, como: quantidade de estoques entre processo, tempo de espera de máquinas, *setup*, índice de peças defeituosas, etc;

Etapa 3) Realizar a simulação da célula com o software de simulação: inserir a situação no software de simulação para avaliar a compatibilidade das informações coletadas no chão de fábrica com as obtidas na simulação inicial, para maiores garantias do resultado final ser viável para aplicação. O software de simulação utilizado foi o FlexSim, que é justificado pela facilidade de interação no ambiente 3D, além de estar disponível aos pesquisadores;

Etapa 4) Validar os dados da simulação: com a validação dos dados, torna-se possível a aplicação da TOC;

Etapa 5) Elaborar uma proposta de melhoria, com base nos passos da TOC: simular vários *rounds* de melhoria com a TOC, buscando maximizar o processo, para que com uma só proposta de mudança da célula produtiva, sejam melhorados os gargalos atuais e demais aspectos que podem surgir no decorrer do tempo da atividade produtiva.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Análise da situação atual

A demanda do setor produtivo é composta por três tipos de peças. Cada uma destas peças possui uma demanda diferente por mês. A demanda é de 375 peças/mês, está detalhada no Quadro 1.

Quadro 1 - Demanda mensal de produtos.

Demanda mensal	
Produto	Peças/mês
A	254
B	68
C	53
Total	375

O tempo disponível de trabalho do setor, no decorrer de cada mês, está descrito no Quadro 2. O valor a ser considerado é o tempo real (tempo efetivo) do trabalho do setor. O setor trabalha 21 dias/mês, em um turno de 8h/dia, com uma eficiência de 85%.

Quadro 2 - Tempo disponível do setor.

A empresa trabalha 21 dias/mês, em um turno de 8h/dia, atingindo uma eficiência de 85%				
Dias	Horas	Segundos por hora	Eficiência	Total
21	8	3600	0,85	514080 s

O Quadro 3 utiliza o tempo efetivo de trabalho do setor e compara com o tempo necessário para que a demanda citada no Quadro 1 seja atingida, fornecendo assim a capacidade produtiva do setor em comparação com a demanda.

Quadro 3 - Capacidade produtiva mensal.

Tempo efetivo	Tempo necessário	Demanda atendida	Capacidade de produção atual
514080 s	788226 s	65,22%	244,57 peças/mês

Conforme o Quadro 3, foi identificado que o setor atingiu apenas 65,22% da demanda atual, gerando um déficit de 131 peças ao mês. A Figura 2 demonstra o fluxograma do processo produtivo em cada operação do setor.

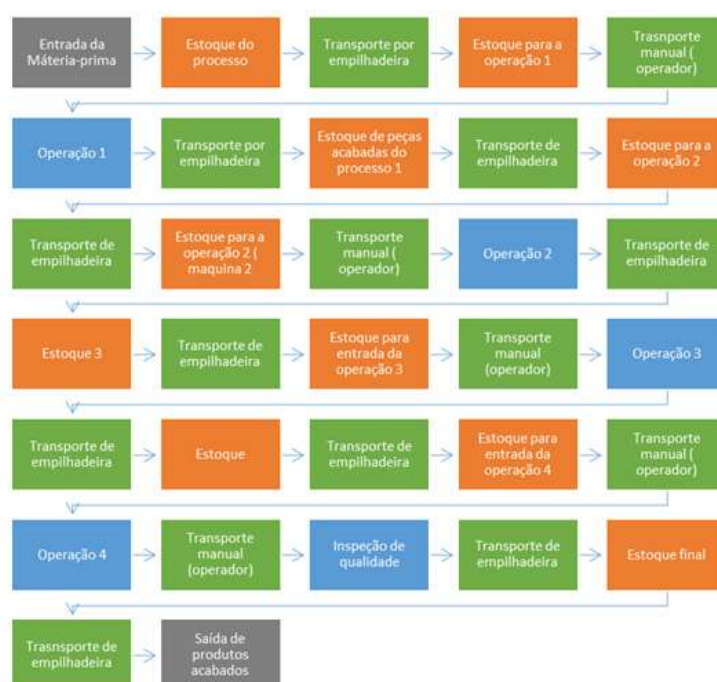


Figura 2 - Fluxo produtivo do setor.

A Figura 2 demonstra que durante o processo há várias operações que não agregam valor, como o estoque e o transporte. Para cada operação de agregação de valor (em azul) há duas operações envolvendo estoque (em laranja) e três operações envolvendo logística (em verde).

O *layout* do setor analisado está dividido conforme representado na Figura 3, onde as máquinas têm as mesmas dimensões, assim como as empilhadeiras. O *layout* possui setas vermelhas que representam o fluxo de peças no setor, setas azuis que representam o fluxo das empilhadeiras e setas amarelas para o fluxo de operadores.

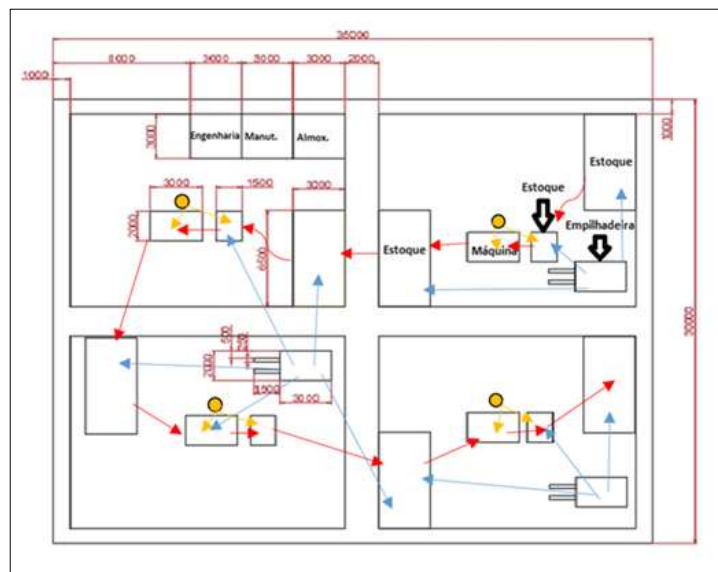


Figura 3 - Layout do setor.

4.2. A simulação da célula com o software FlexSim

Os dados das Figuras 2 e 3 em conjunto com os dados dos Quadros 1, 2 e 3 foram inseridos no software FlexSim, para a simulação do trabalho do setor no decorrer de um mês de trabalho. Com a inserção dos dados no software, contendo o valor real do tempo de trabalho, o fluxograma do processo e o desenho da planta, obteve-se o resultado demonstrado na Figura 4.

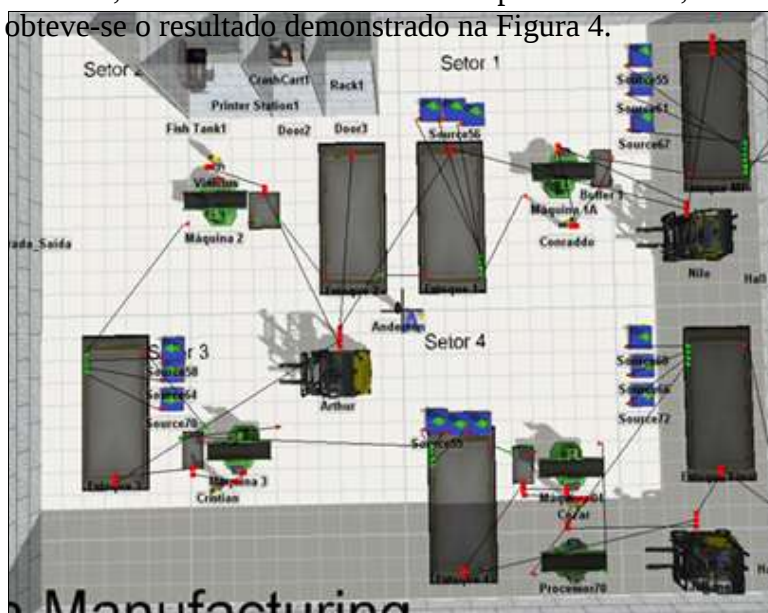


Figura 4 - Layout do setor no FlexSim.

Na simulação de um mês de trabalho do setor foi constatado que: os tempos de agregação de valor (das máquinas), o *setup*, a espera por matéria-prima para executar a operação e dar continuidade no fluxo do processo produtivo. A Figura 5 demonstra o resultado da simulação com o software FlexSim.



Figura 5 - Indicadores das máquinas.

Com o uso do FlexSim fica claro que o gargalo do setor é a operação realizada pela máquina 2, uma vez que é nela que se encontra o maior tempo de processamento. As operações sequenciais apresentam tempo ocioso elevado (espera de matéria-prima) para execução da operação, enquanto o processo antecessor gera um bloqueio de matéria-prima em excesso em virtude dos estoques gerados entre a máquina 1 e a máquina 2. O software possibilitou ainda a análise do tempo de trabalho dos operadores de produção, demonstrado na Figura 6.



Figura 6 - Indicadores dos operadores.

Com os dados da simulação, e comparando o tempo de processamento das máquinas com o tempo de trabalho de agregação de valor dos operadores, confirma-se que a máquina 2 (a qual é operada pelo operador denominado Vinicius) é o gargalo do setor, sendo que os outros operadores são os únicos que mostram tempo ocioso.

O software também possibilitou a análise do tempo de trabalho das empilhadeiras no setor, buscando assim verificar o tempo de agregação de valor que cada uma delas acrescenta ao setor, apresentado na Figura 7.

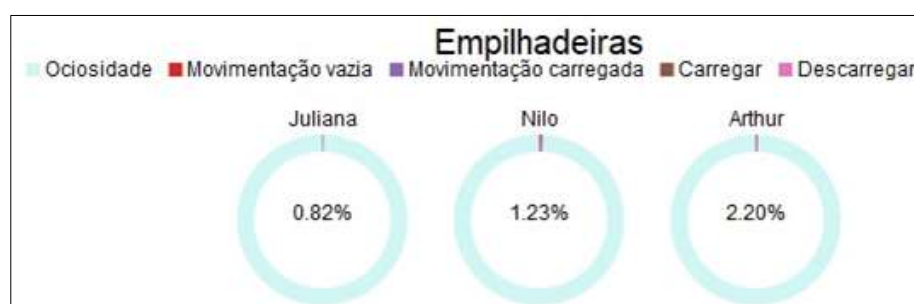


Figura 7 - Indicadores de desempenho das empilhadeiras.

Com a análise no FlexSim foi identificada a baixa agregação de valor dessa operação, uma vez que todas as empilhadeiras demonstram uma ociosidade superior a 90%, sendo que a empilhadeira que obteve o melhor resultado de agregação de valor atingiu apenas 2,2%.

4.3. Validação dos dados

Com os resultados iniciais no FlexSim, os mesmos foram comparados com os dados do Quadro 3 (que sinaliza uma capacidade produtiva de 244,57 peças por mês). Houve também a comparação do tempo de trabalho, conforme o Quadro 1, que demonstra o valor de tempo real de trabalho no total de 514.080 segundos/mês.

Através do FlexSim obteve-se um total de peças produzidas de 266 unidades/mês, pois conforme a situação inicial (que contém vários estoques) já havia no início do mês 10 peças acabadas no estoque final, e mais 10 na entrada da última operação, totalizando assim uma capacidade real de produção desse mês em questão de 264 peças. Desta forma, o nível de validação dos dados de peças produzidas no mês é de: $(264/266) \times 100 = 99,24\%$.

Em relação ao tempo total de produção, e sua fragmentação em tempos de operação, foi identificado uma variação de 65 segundos, referente a saída dos abastecedores iniciais, identificados na Figura 4 como *sources* (56, 62 e 68). A comparação para validação do tempo de processo e operação está baseada no tempo da diferença em relação ao tempo total, resultando em um índice de: $(514.515/514080) \times 100 = 99,98\%$.

4.4. Propostas de melhoria com base na teoria das restrições

4.4.1. Identificar a restrição

Através de dados mais aprofundados obtidos na simulação, foi constatado que o gargalo do setor é a máquina 2, a qual dita o ritmo de produção, uma vez que a velocidade de produção fabril é igual a velocidade da operação mais lenta (restrição).

4.4.2. Explorar a restrição

Para aumentar a capacidade do gargalo foi utilizado uma melhor redistribuição do trabalho nas máquinas, sendo que a máquina 3 tem capacidade técnica de executar parte da operação da máquina 2, aumentando assim a capacidade do gargalo que anteriormente era de 236 para um total de 366 peças ao mês, sem aumento de custo operacional ou inventário para o setor. O Quadro 4 comprova o aumento de produção em 55,51% da máquina 2, uma vez que houve redução no tempo de operação da mesma, gerando assim, um resultado melhor também na máquina 3.

Quadro 4 - Resultado da aplicação da etapa 2 da TOC.

Aplicação da TOC (Explorar a restrição)						
	Situação atual		Etapa 2 da TOC		Diferença em %	
Peça	Máquina 2	Máquina 3	Máquina 2	Máquina 3	Máquina 2	Máquina 3
A	1983	540	1262	1621	-36,36%	200,19%
B	1983	540	1262	1621	-36,36%	200,19%
C	2400	961	1681	1679	-29,96%	74,71%
Capacidade produtiva	236	247	366	367	55,51%	48,58%

4.4.3. Sujeitar todos os demais recursos à decisão tomada anteriormente

Para o passo 3 da TOC, foi necessário alterar a saída de matéria –prima para todo o setor, reduzindo assim o volume de inventário (estoque) entre os processos. Nessa etapa não houve aumento de custo operacional. Esta etapa prevê grande redução de estoques total de 88,24% entre os processos como demonstra o Quadro 5.

Quadro 5 - Indicador de volume de estoque.

Aplicação da TOC (Submeter os demais recursos a decisão 2)			
	Situação atual	Etapa 3 da TOC	Diferença em %
Estoque			
Área 1	22	2	-90,91%
Área 2	12	2	-83,33%
Área 3	12	2	-83,33%
Área 4	22	2	-90,91%
Total	68	8	-88,24%

Na comparação entre o Quadro 5 e a Figura 8, percebe-se uma diferença de 10 peças, porém, estas são unidades já acabadas e encaminhadas para expedição da empresa. A Figura 8 demonstra os estoques entre processo e de peças já acabadas na situação atual do setor, enquanto a Figura 9 é referente a redução do inventário com a etapa 3 da TOC.

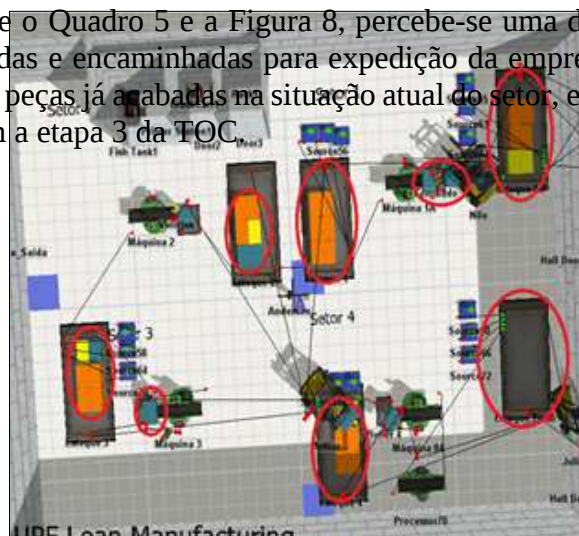


Figura 8 - Situação do estoque inicial do setor.

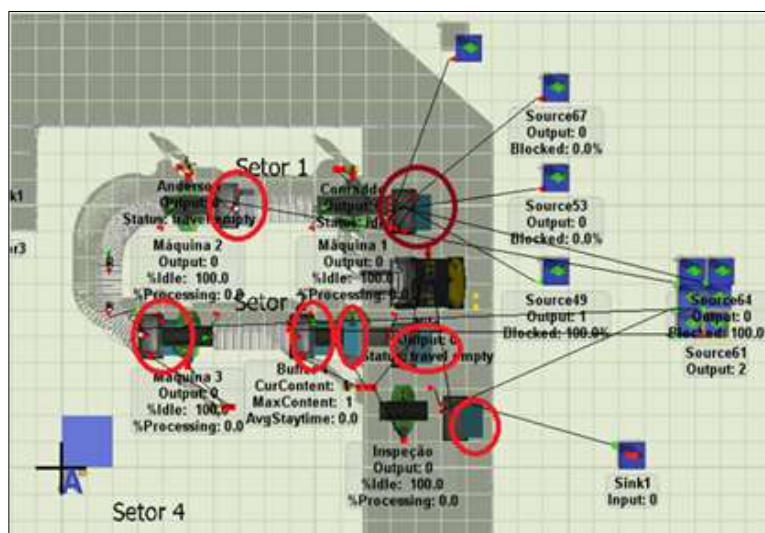


Figura 9 - Estoque depois da aplicação da etapa 3.

4.4.4. Elevar a capacidade da restrição

Com o uso dos dados do FlexSim, percebe-se ainda que havia um pequeno tempo de logística realizado pelo operador, o qual era de 30 segundos para carregar cada peça, e mais 30 segundos para descarregar cada peça. Então para esta etapa (a qual é a etapa que gera um custo para sua implementação) foi simulado uma melhoria em todo o processo logístico das peças, com a substituição de duas empilhadeiras por esteiras automáticas, reduzindo o tempo de carga/descarga de 30 segundos para 5 segundos cada. Ainda nessa etapa foi identificado que ao final do mês e início do próximo não haveria estoque entre processos suficientes para alcançar a demanda do mês subsequente, foi indicado que o setor faça ao final do mês um tempo de trabalho efetivo de 517.387 segundos/mês, contra 514.080 segundos iniciais, contendo a diferença de 3.307 segundos de hora extra. O Quadro 6 apresenta a comparação dos tempos de carga e descarga de peças. O Quadro 7 apresenta a comparação dos indicadores da TOC no passo 4.

Quadro 6 - Comparação dos tempos (segundos) de carga e descarga de peças.

Tempo de logística	Máquina 1		Máquina 2		Máquina 3		Máquina 4		Total	
	Manual	Esteira	Manual	Esteira	Manual	Esteira	Manual	Esteira	Manual	Esteira
Carregar	30	5	30	5	30	5	30	5	120	20
Descarregar	30	5	30	5	30	5	30	5	120	20
Total	60	10	60	10	60	10	60	10	240	40
Redução em %	-	83,33%	-	83,33%	-	83,33%	-	83,33%	-	83,33%

Quadro 7 - Comparação dos indicadores da TOC no passo 4.

Aplicação da TOC (Elevar a capacidade da restrição)						
	Inventário		Custo operacional		Ganho	Tempo
	Aumento	Redução	Aumento	Redução	Resultado	Ganho x tempo
Empilhadeira	-	2	-	R\$ 8.000,00	R\$ 16.000,00	Mensal
Esteira	3	-	-	R\$ 35.000,00	R\$ 105.000,00	Parcela única
Hora extra	-	-	1,08	-	1,08	Hora/mensal

Conforme já mencionado anteriormente, esta é a etapa que na maioria das vezes requer um investimento da empresa, seja este alocado em inventário (máquinas e equipamentos) ou em custo operacional (aumento do número de funcionários, ou aumento de horas trabalhadas).

Todavia, para esta situação o *payback* do investimento é pequeno (rápido retorno), visto que mensalmente foi reduzido o valor de R\$ 16.000,00 referente ao inventário (2 empilhadeiras), houve também a redução de custo operacional (o gestor do setor), enquanto o aumento do inventário é evidenciado apenas pelo valor único de R\$ 105.000,00 (esteiras), custo o qual é bruto, em virtude do aumento de produtividade do gargalo (uma hora ganha no gargalo é uma hora ganha em todo o processo). O aumento de ganho de 83,33% em logística é superior a necessidade do setor em fazer 1,08 hora-extra/mês.

4.4.5. Voltar ao passo 1

O resultado obtido através das outras etapas da TOC no FlexSim, foi detectado que o próximo gargalo seria fora do setor produtivo, ou seja, um gargalo externo. Utilizando a ferramenta de simulação computacional torna-se previsível que ao implementar a TOC no gargalo externo, a máquina 2 do processo produtivo, do setor estudado, será novamente a restrição do sistema. Porém essa ação só deve ser tomada (novamente tratar a máquina 2 como gargalo) quando for necessária, pois uma hora ganha em uma operação não gargalo não muda em nada o resultado final (ganho).

A Figura 10 representa o *layout* futuro oriundo da simulação do setor utilizando a TOC. Houve uma redução do espaço físico produtivo (que resultou em subtração dos custos operacionais e inventário).

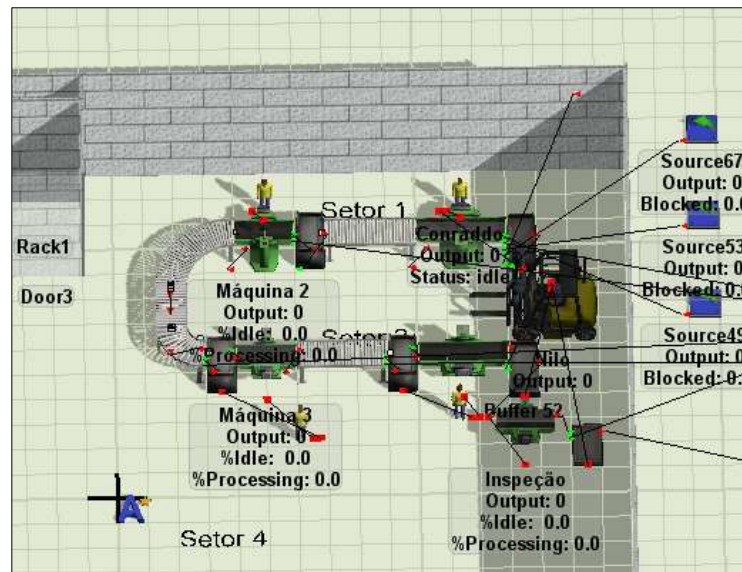


Figura 10 - Proposta do novo *layout* do setor.

Ainda, segundo a simulação, os resultados previstos com as mudanças propostas geram o aumento global de produção, apresentado nas Figuras 11 e 12.



Figura 11 - Resultado da aplicação da TOC para os operadores.



Figura 12 - Resultado da aplicação da TOC para as máquinas.

5. CONCLUSÕES

Os indicadores inicialmente apresentaram um elevado custo operacional e de inventário, os quais reduziam em muito o valor do ganho da empresa. Foi necessária a elaboração de uma proposta para melhorar os indicadores (tornando o ganho superior a soma do inventário e custo operacional).

Com o uso do software de simulação computacional foi possível propor um *layout* com o balanceamento e o nivelamento ideal da produção para o alcance da meta do setor (ganho superior à soma dos custos operacionais com o inventário). Houve uma redução significativa de estoques em 88,24%, empilhadeira, a realocação de um gestor, e o aumento em 55,51% da capacidade produtiva do gargalo inicial, sendo possível atender a demanda.

A TOC possui a etapa 3 (submeter todo o sistema a decisão tomada na etapa 2) que tem difícil previsão no cotidiano, porém com o uso do FlexSim foi possível prever o resultado antes mesmo de sua implementação, tornando o ganho mais rápido. Com o uso simultâneo da TOC com o FlexSim, foi possível executar todos os passos da “Teoria de Goldratt” de forma mais rápida e eficaz.

Como recomendação para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação da metodologia em outros setores da mesma empresa, visando com isso melhorar sua produtividade. Importante considerar que essa metodologia pode ser aplicada em empresas de diferentes ramos de atuação.

6. REFERÊNCIAS

ALVES, A. P.; ALMEIDA, R. S.; COGAN, S.; BOMFIM, P. R. C. M.; GOUVEIA, V. A. L. Utilizando o Processo de Raciocínio da Teoria das Restrições para a Gestão de Projetos de Pesquisas e Atividades Científicas. **XVII Congresso Brasileiro de Custos**. Belo Horizonte, 03 a 05 nov. 2010.

DA SOUZA, F. B.; PIRES, S. R. I. Produzindo para disponibilidade: Uma aplicação da teoria das restrições em ambientes de produção para estoque. **Gestao e Produção**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 65–76, 2014.

FLEXSIM. **FlexSim Software de Simulação**. FlexSim, 2018. Disponível em: <<https://www.flexsim.com/pt/>> Acesso em: 12 mar. 2021.

GOLDRATT, E. **A Meta: Teoria das Restrições (TOC) aplicada a indústria**. 1 ed. rev. Barueri: Nobel, 2014.

GOLDRATT, E. Sobre o ombro de gigantes: conceitos de produção versus aplicações na produção. O exemplo da Hitachi Tool Engineering. **DRAFT. Goldratt Consulting**. 2010, Disponível em: <<http://vanzolini.org.br/download/Sobre%20os%20ombros%20de%20gigantes.pdf>> Acesso em: 02 abr. 2019.

KARNON, J.; STAHL, J.; BRENNAN, A.; CARO, J. J.; MAR, J.; MÖLLER, J. Modeling using discrete event simulation a report of the ISPOR-SMDM modeling good research practices task force–4. **Medical decision making**, v. 32, n. 5, p. 701-711, 2012.

MAHESH, C. G.; BOYD, L. H. Theory of constraints: a theory for operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 28, p. 991–1012, 2008.

MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J. B.; XAVIER, A. F.; CAMPOS, D. F. **Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução**. *Produção*, v. 22, p.1-13, 2012.

PACHECO, D. A. J. Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração. **Produção**, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 940–956, 2014.

PERGHER, I.; RODRIGUES, L. H.; LACERDA, D. P.. Discussão teórica sobre o conceito de perdas do Sistema Toyota de Produção: inserindo a lógica do ganho da Teoria das Restrições. **Gestão & Produção**, [s. l.], v. 18, n. 4, p. 673–686, 2011.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 15. ed. São Paulo: Cortez, 2007.