

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS CONTÁBEIS
CURSO DE CIÊNCIAS CONTÁBEIS**

ALINE DE OLIVEIRA

**A TEORIA DAS RESTRIÇÕES EM UM PROCESSO DE UMA INDÚSTRIA
DE ELETRÔNICOS: UM ESTUDO DE CASO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2018

ALINE DE OLIVEIRA

**A TEORIA DAS RESTRIÇÕES EM UM PROCESSO DE UMA INDÚSTRIA
DE ELETRÔNICOS: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Contábeis do Departamento de Ciências Contábeis, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Casagrande

PATO BRANCO

2018



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Pato Branco
Curso de Ciências Contábeis
Coordenação de Trabalho de Conclusão de Curso



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso

A TEORIA DAS RESTRIÇÕES EM UM PROCESSO DE UMA INDÚSTRIA DE ELETRÔNICOS: UM ESTUDO DE CASO

Nome do Aluno: **Aline de Oliveira**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 14 horas, no dia 14 de Novembro de 2018 como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Ciências Contábeis, do Departamento de Ciências Contábeis - DACON, no Curso de Ciências Contábeis da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____.
(aprovado, aprovado com restrições, ou reprovado).

Prof. Dr. Luiz Fernande Casagrande
Orientador

Prof. Dr. Ricardo Adriano Antonelli
Avaliador - UTFPR

Prof. Msc. Marivânia Rufato da Silva
Avaliador UTFPR

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho à minha mãe
Marli e meus filhos Paulo e Monica, pelos
momentos de ausência, por estarem
sempre ao meu lado, por me permitirem
conhecer o amor.

AGRADECIMENTOS

Peço desculpas àquelas pessoas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Luiz Fernando Casagrande, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória e pela confiança depositada em mim, ao qual expresso minha admiração.

Aos meus colegas de sala, especialmente meus amigos Márcia e Márcio que me apoiaram nesta trajetória, que me suportaram nos momentos em que precisei, pelas horas de estudo compartilhado, pelas risadas, pelas “perdas de tempo”, jamais esquecerei vocês.

Agradecimento especial também a Jéssica H., Jéssica T., Kéllen e a Gabrieli por me acolherem no seu grupo e me apoiarem tanto.

Aos meus amigos do grupo “Amigões”: André, Eduardo, Tiago e Vinicius que me proporcionaram momentos de distração em meio ao caos de provas e trabalhos, pelos momentos compartilhados de distração e de discussões construtivas, pela presença constante e apoio.

Ao meu irmão de coração Wagner, pessoa pela qual expresso meu grande carinho e admiração, que me mostrou os caminhos da contabilidade, que sempre me apoiou, esteve ao meu lado, me ensina e expõe de maneira prática e objetiva sua opinião e compreende a minha.

A todo corpo docente da minha graduação, pela cooperação, pelos ensinamentos e carinho demonstrados, Eliandro, Scheitt, Luciane, Giasson, Adair, Luiz, Paula, Andressa, Fernanda, Denise, Pâmila, Josiane, Audrey, Rafael, Nilson e especialmente ao Ricardo e a Marivânia pelas contribuições neste estudo.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, minha irmã Angélica, meu cunhado Juliano, meu sobrinho Kaleb, meu irmão Marcos e especialmente minha mãe Marli, que cuidou dos meus filhos para que eu concluísse minha graduação. Agradeço também aos meus filhos Paulo e Mônica por entenderem os momentos de ausência e me apoiarem tanto.

Enfim, a todos que por algum motivo e em algum momento contribuíram para a realização desta pesquisa.

"Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade." Albert Einstein

RESUMO

Este estudo propõe a avaliação dos impactos da otimização do processo produtivo em uma indústria de eletrônicos utilizando a programação linear no balanceamento de produção. Busca identificar no processo fabril da empresa, objeto de estudo, as principais restrições de produção, propor os ajustes necessários no processo produtivo para mitigar as restrições identificadas e realizar uma comparação, da margem de contribuição total da empresa, obtida nos meses de março e abril de 2018. O estudo se mostrou positivo, pois maximizou o resultado da empresa, evidenciando as restrições e propondo soluções para melhor utilização da capacidade fabril. Utilizando a programação linear da ferramenta Microsoft Office Excel Solver®, e levando em consideração as restrições do sistema, constatou-se que a empresa tem condições de maximizar sua margem de contribuição em uma média de 61,5%. Esse aumento é possível ajustando o mix de produção, sem alterar a capacidade de produção e os recursos já utilizados pela empresa. A solução apresentada neste estudo de caso será implementada em uma parte do processo da empresa onde um software customizado não compreenderá todas as restrições encontradas neste processo produtivo.

Palavras-chave: Teoria das restrições. *Solver*. Restrições de produção.

ABSTRACT

This study proposes the evaluation of the impacts of the optimization of the productive process in an electronics industry using linear programming in the production balancing. It seeks to identify the main production constraints in the company's manufacturing process, to propose the necessary adjustments in the production process to mitigate the constraints identified and to make a comparison of the company's total contribution margin obtained in the months of March and April 2018. The study was positive, since it maximized the company's result, evidencing the restrictions and proposing solutions for better utilization of the manufacturing capacity. Using the linear programming of the Microsoft Office Excel Solver® tool, and taking into account system constraints, it was found that the company was able to maximize its contribution margin by an average of 61.5%. This increase is possible by adjusting the production mix, without changing the production capacity and resources already used by the company. The solution presented in this case study will be implemented in a part of the company process where custom software will not understand all constraints encountered in this productive process.

Keywords: Theory of constraints. Solver. Production bottlenecks.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: PROCESSO MACRO DE PRODUÇÃO	29
FIGURA 2: FLUXO DE PRODUÇÃO	31
FIGURA 3: EXEMPLO DO PRODUTO FABRICADO	32
FIGURA 4: PROCESSO DE MONTAGEM 1	34
FIGURA 5: 1ª E 2ª RESTRIÇÃO <i>SOLVER</i>	44
FIGURA 6: 3ª RESTRIÇÃO <i>SOLVER</i>	45
FIGURA 7: PARÂMETROS DO <i>SOLVER</i>	46
FIGURA 8: ERRO <i>EXCEL</i>	47

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: EXEMPLO DE MATRIZ DE <i>RATES</i>	31
TABELA 2: PRODUÇÃO E PEDIDOS EM MARÇO DE 2018	37
TABELA 3: PRODUÇÃO E PEDIDOS EM ABRIL DE 2018	38
TABELA 4: MATRIZ MÊS DE MARÇO DE 2018 – UNIDADES POR HORA.....	39
TABELA 5: MATRIZ MÊS DE ABRIL DE 2018 – UNIDADES POR HORA.....	40
TABELA 6: MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO UNITÁRIA.....	41
TABELA 7: TEMPO(MINUTOS) POR UNIDADE.....	43
TABELA 8: CAPACIDADE POR OPÇÃO DE MONTAGEM.....	45
TABELA 9: MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO MÊS DE MARÇO DE 2018	47
TABELA 10: MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO MÊS DE MARÇO DE 2018 - MODIFICADO.....	48
TABELA 11: MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO MÊS DE ABRIL DE 2018	49
TABELA 12: MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO MÊS DE ABRIL DE 2018 - MODIFICADO.....	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.2 OBJETIVO	14
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
1.3 JUSTIFICATIVA	15
1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	16
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 PRINCIPAIS CONCEITOS DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES	17
2.2 PRINCIPAIS FERRAMENTAS DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES	18
2.3 ESTUDOS PRECEDENTES	20
3 METODOLOGIA DE PESQUISA	24
3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO	24
3.2 PROCEDIMENTOS PARA REVISÃO DA LITERATURA	25
3.3 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA E PROCESSO PRODUTIVO	28
4.2 RESTRIÇÕES IDENTIFICADAS	33
4.3 RESTRIÇÕES DO PROCESSO TRATADAS COM O <i>SOLVER</i>	36
4.3.1 Análise Da Matriz De Linhas	39
4.3.2 Margem De Contribuição	41
4.3.3 Utilização Da Ferramenta <i>Microsoft Office Excel Solver®</i>	42
4.4 COMPARAÇÃO MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO	47
5 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

Com os incentivos às indústrias é possível importar componentes eletrônicos, não fabricados no Brasil, porém o *lead time* (tempo de processamento) pode inviabilizar projetos. Muitos desses componentes eletrônicos são produzidos apenas sob demanda, o que aumenta o *lead time*. As empresas que possuem parcerias com fornecedores na China, por exemplo, conseguem reduzir esse prazo, porém muitos ainda trabalham com *lead time* superior há 30 dias e, em alguns casos superando os 180 dias, principalmente componentes fabricados sob demanda e com alta complexidade. Um estudo de caso realizado na Jabil eletroeletrônicos de Minas Gerais, mostrou que parte dos fornecedores desta, possuía *lead time* de 12 a 30 semanas, sendo que seus clientes não poderiam esperar um prazo superior a 30 dias (OLIVEIRA *et al.*, 2006).

Devido ao alto *lead time* empregado, muitas indústrias acabam inflando seus estoques, o que pode gerar obsolescência, custos de armazenagem, desgaste do material, entre outras situações. O estoque dos componentes eletrônicos deve ter uma boa rotatividade, visto que o risco de um material se tornar obsoleto é muito grande, pois a tecnologia encontra-se em constante mudança. No estudo de caso apresentado por Saueressig *et al.* (2017) foi identificada uma obsolescência do estoque de aproximadamente 40% na empresa analisada. A empresa mantinha além de um estoque de segurança para atender seus clientes com menor prazo, outra parte com materiais que o fornecedor não vendia fracionado, por isso, as sobras ficavam no estoque limitando a compra de produtos com retorno para a empresa.

Gonçalves (1994), ressaltava à época que a tecnologia está nos produtos das empresas, no controle de seus processos, em suas máquinas e equipamentos, enfim, está presente no dia-a-dia das empresas. Essa afirmação com o tempo, faz ainda mais sentido.

A alta tecnologia empregada na composição dos componentes eletrônicos permite que muitos projetos se tornem mais rentáveis e com melhor performance, apenas com a troca de um ou dois componentes. Mas isso só é possível a partir de uma mão de obra especializada, com capacidade técnica para modificar e construir projetos eletrônicos. Frente a isso, existe uma constante modificação nos projetos eletrônicos, à medida que verifica-se uma nova necessidade e constata-se que é

possível realizar a melhoria no projeto, isto é executado logo após testes de verificação da performance de modificação.

Além dos desafios encontrados, para compor o projeto eletrônico, entendê-lo e estocar seus componentes, as indústrias devem estar atentas aos seus processos, tornando-os mais enxutos e autônomos. Um processo fabril com o mínimo de desperdícios e com processos automatizados, acelera o processo de produção, reduz o custo e melhora a qualidade do produto final. Este é um ponto em que pode mitigar os problemas que a indústria obtém com o alto *lead time* dos componentes importados. Com um processo automatizado a indústria ganha em termos de qualidade, pois descarta a variabilidade de soldagem eletrônica, como por exemplo *solder ball* (bola de solda), solda fria entre outros problemas decorrentes da soldagem manual dos componentes na Placa de Circuito Impresso (PCI).

Grandes fabricantes de computadores, de automações industriais, comercial e bancária, automobilísticos, energia e entre outros, terceirizam parte de seus processos, como a montagem de placas eletrônicas. É neste ponto que se apresentam as indústrias eletrônicas, que geralmente não oferecem o produto ao consumidor final, mas sim, produzem partes de projetos de indústrias que posteriormente oferecerão este produto ao consumidor final ou à um produto específico.

Nesse sentido as indústrias de eletrônicos, trabalham com um *mix* de produtos, que nem sempre se utilizam dos mesmos componentes eletrônicos. Constata-se um alto volume de estoque, muitas opções de processos produtivos no chão de fábrica, alta complexidade no sequenciamento de produção, um maior número de restrições de máquinas, mão de obra e ferramental a ser utilizado.

O aumento da competitividade faz com que as empresas busquem formas de melhorar sua performance no processo produtivo. É imprescindível, uma análise de custos bem estruturada e mecanismos que visem o balanceamento de produção, em busca de um melhor desempenho do seu processo.

A partir desta demanda, quanto mais preciso e adequado o uso dos recursos, melhor será o equilíbrio entre a capacidade fabril e a demanda. Para atender esse objetivo, a Teoria das Restrições (TR) fornece o suporte necessário para encontrar esse equilíbrio.

Estudos utilizando a teoria das restrições mostraram que esta, pode ser utilizada como suporte aos princípios da produção enxuta, reduzindo tempo de

resposta e melhorando a pontualidade de entrega (VOTTO E FERNANDES, 2014). Após a exploração da restrição foi possível identificar que a empresa possuía recursos para dobrar sua capacidade (PEGORARO, 2017).

Os benefícios proporcionados pela TR podem ter grande relevância para a empresa, porém elas precisam trabalhar constantemente suas restrições, visto que, sempre que resolver uma, outra tomará seu lugar. Bornia (1994) destaca que o objetivo da TR à maneira como trata os custos é para apoiar a tomada de decisão. Desta forma, as empresas identificam suas restrições e, a partir destas, é possível definir processos e/ou produtos que possuem maior ou menor contribuição para o resultado da empresa, podendo a partir disso, realizar um sequenciamento de produção que atenda suas necessidades, resolver restrições e maximizar seus lucros. Uma empresa que utilize a TR pode se beneficiar mais de uma vez de sua aplicabilidade. Uma vez resolvidas restrições de produtos, por exemplo, a empresa pode aplicar em seus processos, mitigando restrições e buscando a maximização dos seus resultados.

Para Martins (2018) a contabilidade de custos serve como auxílio a contabilidade gerencial, no controle e na tomada de decisões, pois, auxilia na identificação dos restrições e demonstra que após a mitigação de uma restrição, outra que surgiu em seu lugar, demandava a necessidade de novas análises e tomada de decisão.

Martins (2018) conceitua a margem de contribuição como a diferença entre o preço de venda do produto e o seu custo variável. Desta forma, quanto maior a margem de contribuição e maior o volume de vendas deste, melhor será para a empresa. Se a empresa encontra formas de reduzir seus custos sua margem de contribuição aumenta, sem a necessidade de aumentar o preço de venda.

Poersch, Gourlat e Chapoval Neto (2016) ressalta que os processos dentro de uma empresa são responsáveis por produzir um produto ou serviço que será entregue a um cliente posteriormente. Considerando a importância dos processos e a necessidade de diferenciais competitivos, as empresas precisam ajustar seus processos de maneira eficiente para criar valor na perspectiva do cliente. A otimização dos processos, gerando valor ao cliente melhora o resultado da empresa. Processos robustos bem definidos, sequenciamento de produção para evitar desperdício de tempo e um autoconhecimento de suas restrições são elementos importantes para agregar valor aos produtos e melhorar o resultado da empresa.

Neste cenário, as ferramentas computacionais contribuem para o sucesso da análise de restrições. As ferramentas computacionais que auxiliam no sequenciamento de processos se utiliza de programação linear. Pires (2018) destacou em sua pesquisa, que a programação linear provém de um modelo de otimização que se utiliza da função função-objetivo, com intuito de maximizar ou minimizar o resultado, após o mapeamento das restrições para que seja possível encontrar a melhor solução.

1.1 TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA

Tendo em vista a busca por uma alta eficiência fabril e métodos que auxiliem na redução dos custos de produção, as empresas do setor de produtos eletrônicos precisam de soluções que melhorem seus processos fabris, atendam a expectativa do cliente em relação à prazo, qualidade e custo, além de maximizar seus resultados.

Segundo Martins (2018) a contabilidade de custos possui três funções caracterizadas como mais relevantes, sendo elas: auxiliar no planejamento, no controle e na tomada de decisão das empresas. Visando a maximização de resultados, as empresas necessitam de melhor planejamento e controle nos seus processos, nesse sentido, a teoria das restrições foi desenvolvida para auxiliar no desenvolvimento do planejamento dos processos produtivos. A proposta da teoria das restrições de gerenciar as limitações que os processos produtivos possuem, destaca sua importância de utilização para otimizar os processos.

Desta forma, questiona-se: Quais os impactos da otimização do processo produtivo em uma indústria de eletrônicos utilizando a programação linear no balanceamento de produção?

1.2 OBJETIVO

Serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos definidos para realizar o desenvolvimento deste trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar os impactos da otimização do processo produtivo em uma indústria de eletrônicos utilizando a programação linear no balanceamento de produção.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar no processo fabril da empresa, objeto de estudo, as principais restrições de produção;
- Propor os ajustes necessários no processo produtivo para mitigar as restrições identificadas;
- Realizar uma comparação, da margem de contribuição total da empresa, obtida nos meses de março e abril de 2018.

1.3 JUSTIFICATIVA

Por meio da teoria das restrições, pretende-se encontrar as restrições de produção, e aplicar a teoria no processo produtivo evidenciando seu auxílio na tomada de decisão que esta propõe. Com isso espera-se verificar alternativas que possam corrigir as restrições encontradas de modo que a margem de contribuição da empresa aumente.

Busca-se repassar à empresa a importância que a teoria das restrições possui no controle dos processos produtivos e como ela pode contribuir no auxílio a tomada de decisões. As empresas buscam sempre redução de custos para maximizar seus resultados, e a teoria das restrições serve como ferramenta de apoio para tomar decisões para planejar a capacidade e os produtos mais rentáveis a se produzir.

A utilização de uma ferramenta computacional para realizar a programação linear, busca facilitar o processamento dos dados e obter os resultados mais precisos e com maior agilidade proporcionando rapidez na tomada de decisão.

As empresas necessitam do auxílio à tomada de decisão proporcionado pela teoria das restrições, abordando um novo modelo de gerenciamento da produção.

O presente estudo visa também proporcionar maior conhecimento sobre a teoria das restrições, principalmente nos processos de gerenciamento de produção, evidenciando sua aplicação nos processos produtivos de uma indústria de eletrônicos, bem como a aplicabilidade dos conceitos decorrentes da teoria das restrições neste e em outros estudos realizados. A validação das ferramentas propostas pela teoria das restrições demonstra que a teoria apresentada é compatível com a realidade das empresas.

Lacerda e Corcini Neto (2009), sugerem trabalhos utilizando ferramentas de simulação computacional para verificar se elas podem auxiliar na simulação da realidade da empresa e contribuir com melhorias além das propostas pela Teoria das Restrições.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O presente estudo tem como objetivo de pesquisa avaliar os impactos da redução de restrições de produção na margem de contribuição de uma indústria de eletrônicos, situada na região Sul do Brasil, onde foi realizada a análise de restrições no período de março a abril de 2018.

Busca-se o levantamento das restrições do processo produtivo da empresa, com intuito de realizar uma comparação dos resultados, antes e depois da teoria das restrições.

No momento da aplicação da ferramenta *Microsoft Office Excel Solver*® a empresa já havia encerrado os períodos de março e abril, ou seja, não há modificação nos resultados gerados pela empresa. A aplicação da ferramenta visa analisar se os resultados obtidos podem ser melhorados utilizando a teoria das restrições no processo produtivo da empresa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos da teoria das restrições, ferramentas da teoria das restrições e os estudos precedentes.

2.1 PRINCIPAIS CONCEITOS DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Para Filho (2008), o processo produtivo possui grande complexidade operacional, haja visto que possui muitas variáveis que agem em conjunto, ressalta ainda, a grande importância de uma administração com visão sistêmica para busca efetiva de solução de problemas. Siqueira (2009) entende o processo produtivo como uma série de atividades que interagem entre si para uma determinada transformação, tudo isso sequenciado por uma área específica que decide sobre as quantidades e o momento do início das atividades.

Devido à alta complexidade do processo produtivo e suas variáveis agindo em conjunto, identifica-se como um processo propício a possuir restrições de produção, restringindo a maximização de resultados de uma empresa.

Ducatti (2014) demonstrou em sua pesquisa que a teoria das restrições contribui potencialmente, identificando lacunas e proporcionando um importante complemento para gestão de mudanças. O processo produtivo possui grande complexidade operacional mesmo quando seus processos são sequenciados, para as mudanças necessárias a teoria das restrições contribui para o aprimoramento do sequenciamento.

A restrição é qualquer fator que impede que a empresa alcance seu objetivo, é o elo mais fraco do seu processo. A teoria busca o equilíbrio entre todos os elos do processo, fazendo com que os elos não-restritivos possam trabalhar em favor do fator restritivo do processo (GUERREIRO, 1996).

Goldratt e Cox (1990) definiram 5 etapas para serem seguidas continuamente nos processos para que não ocorra a inércia, são eles:

1. Identificar a(s) restrição(ões) do sistema;
2. Explorar a(s) restrição(ões) do sistema;

3. Submeter qualquer outro evento à decisão anterior;
4. Elevar a(s) restrição(ões) do sistema;
5. Se a restrição for quebrada em um dos 4 passos anteriores, é necessário iniciar do passo 1, pois a inércia não pode ser maior do que a restrição do sistema.

Sempre que se encontrar uma restrição e esta for resolvida, é necessário seguir os passos novamente, pois, do contrário as próprias etapas da teoria das restrições podem tornar-se inertes, gerando uma nova restrição.

A aplicação da teoria das restrições aliada a estratégia competitiva é um fator determinante para os resultados da indústria brasileira (ANTUNES *et al.*, 2013).

Para Corbari e Macedo (2012) se uma empresa não possuísse restrições, seus lucros seriam infinitos. Portanto, ao encontrar e elevar as restrições do sistema, as empresas ficam mais próximas de maximizar seus resultados.

Para determinar a maximização dos resultados da empresa é necessário que uma análise de custos básica tenha sido implementada, visto que, para melhorar o desempenho da empresa, apesar das restrições identificadas no processo, é necessário que a margem de contribuição do fator restritivo seja conhecida. Para Martins (2018) a margem de contribuição é a diferença entre o preço de venda (líquido dos tributos incidentes) e a soma dos custos variáveis, porém, devem ser consideradas também as despesas variáveis, deduzindo do valor de venda, o que não altera o valor da margem de contribuição.

Sabendo a margem de contribuição unitária e identificando as restrições é necessário explorá-las, verificando adaptações nos processos e submetendo outros eventos à decisão anterior de forma que o próximo passo seja a elevação dessa restrição, ou seja, aumentar sua capacidade, modificar seu processo, ou outras alternativas que desfaçam essa restrição.

2.2 PRINCIPAIS FERRAMENTAS DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Em meados dos anos 70, o estudante de física na época, Goldratt desenvolveu uma fórmula matemática para realizar o plano de produção de uma empresa que fabricava gaiola para aves. A fórmula é voltada para a programação de

produção, fórmula que se tornou a base do *software* TPO (Tecnologia de Produção Otimizada) (GUERREIRO, 1996).

A partir de 1979, o *software* começou a ser comercializado e, a partir da experiência prática, foi sofrendo várias modificações criando o pensamento TPO. Na segunda metade década de 80, Goldratt desenvolveu a Teoria das Restrições (TR), que é uma ampliação do TPO. Para disseminar o conhecimento de suas teorias, em 1984 lançou o livro “A Meta”. O objetivo principal é ganhar mais dinheiro com uma adequada gestão da produção, no entanto, admite-se que para atingir o objetivo sempre há uma ou mais restrições (GUERREIRO, 1996).

As ferramentas que colaboram para um sequenciamento do processo produtivo, são atualmente conhecidas como Sistemas Avançados de Planejamento (SAP), que permitem inserir as restrições do processo e em seguida o *software* determina qual a melhor sequência de programação levando em conta o gargalo (restrição) do processo produtivo (MENEGHELLO E MARTINS, 2015).

A programação linear, base desses *softwares*, nada mais é do que o planejamento dos recursos de produção. Esses *softwares* são ferramentas de planejamento avançado da produção, que fazem uso da teoria das restrições para melhorar o processo de tomada de decisão nas empresas (MENEGHELLO E MARTINS, 2015).

Fernandes *et al.* (2009) relataram como uma limitação do seu trabalho a não utilização de ferramenta de simulação computacional, pois, as simulações realizadas com ferramentas computacionais, podem trazer mais robustez e inclusive melhorar a aplicação da teoria das restrições.

A ferramenta SAP *Preactor*® possui diversos produtos, que consistem num conjunto de recursos, que se utiliza de matemática avançada para realizar o sequenciamento de produção, levando em consideração as restrições, as regras de negócio da empresa e disponibilizando diversos cenários ao planejador. Pode ser personalizado para cada tipo de empresa, tornando a ferramenta menos acessível, devido ao seu alto custo (SIEMENS, 2018)

Para Arenales *et al.* (2007) a programação matemática, consiste na produção de soluções para problemas de decisão, a partir de dados do problema. O passo seguinte à resolução é a avaliação das soluções propostas, sendo possível alterar variáveis e comparar seus resultados, sendo um apoiador no processo de tomada de decisão.

Uma ferramenta acessível é o *Microsoft Office Excel Solver*®, que também oferece os recursos da programação linear. Para utilizar a ferramenta é necessário:

- Definir os resultados que se deseja obter, são as variáveis;
- Definir as restrições, basicamente são as regras;
- Definir a função objetivo, que busca otimizar ou minimizar um resultado, dependendo do que está sendo analisado (lembrando que a função objetivo deve estar representada por uma fórmula).

Após a inserção dos dados, é necessário definir as opções a serem utilizadas e então clicar em resolver. Desta forma são apresentados os resultados automaticamente. Com isso é possível evidenciar quais são os recursos que restringem diretamente a variável. No relatório de sensibilidade da ferramenta *Microsoft Office Excel Solver*®, são informadas quais restrições precisam ser alteradas para maximizar o objetivo (LACHTERMACHER, 2016)

2.3 ESTUDOS PRECEDENTES

Estudos anteriores sobre a teoria das restrições foram aplicados em indústrias dos mais diversos segmentos e com diferentes ferramentas a partir da análise de restrições, a fim de evidenciar a maximização de resultados a partir de uma análise bem executada nos processos produtivos.

Fernandes *et al.* (2009) realizou um estudo de caso em uma indústria de couros do estado de Santa Catarina. Nesta indústria de couros são analisadas as restrições do processo produtivo e realizada a aplicação prática da TR. Foi realizada uma investigação com a alta administração para evidenciar seu conhecimento em relação a TR, a demonstração de aplicação da TR em um modelo adaptado e um teste efetivo de uma restrição do processo de couros. Através de valores ilustrativos, foram demonstradas as margens de ganho por m² produzido.

Com a análise de um pedido de 39.000m² para ser entregue em 6 lotes de 6.500m²/mês, observou-se uma restrição de máquinas, que afetaria seu mix de produtos se tal pedido fosse aceito. A restrição possuía 96,3% de utilização no momento, a compra de novas máquinas não seria coberta pelo pedido. Analisando sua restrição e seu processo foi possível propor um contrato com um tempo de entrega

de 9 meses de forma que a empresa poderia atender sem necessitar comprar novas máquinas. Com isso não houve recusa do pedido e ainda abriu a possibilidade da indústria de couros maximizar seu lucro, conforme preconização da TR.

Lacerda e Corcini Neto (2009) realizaram uma abordagem para posicionamento e dimensionamento de estoques de couros na cadeia de suprimentos. A cadeia de suprimentos para aquisição de revestimento de couros, que são colocados em empresas especializadas, que não as montadoras de carros, segundo os autores possuem *lead time* de 8 dias, mais 2 dias de transporte, se for do estado do Rio Grande do Sul ao estado de São Paulo.

O alto *lead time*, tempo de processamento, gera constantes reprogramações, visto que há pedidos menores para determinada empresa e isso é feito individualmente. A sugestão foi otimizar o processo, produzindo em maior quantidade e mantendo dois estoques, um de produtos acabados e outro de produtos semiacabados. Desta forma quando o pedido possui estoque seu *lead time* passa de 10 para 2 dias, considerando apenas o tempo de transporte, e quando há necessidade de produção seu *lead time* gira em torno de 5 dias, pois há redução nos *setups*, tempo de inicialização do processo, de linha em função da produção de lotes econômicos.

Luchese *et al.* (2016) analisaram a implantação da lógica tambor-pulmão-corda em uma empresa da indústria moveleira. Este artigo descreve a implementação da Lógica TPC (Tambor-Pulmão-Corda) em uma indústria moveleira, pois foi a melhor solução encontrada, pois permite a programação, o controle da produção e tomada de decisão no chão de fábrica.

A empresa adotou a TPC para reduzir a quantidade de estoque de produtos entre os setores, para tanto utilizou-se de uma consultoria externa para realinhar os processos, que realizou acompanhamento por um ano, operação de corte de tecido foi definida como tambor. A corda sincronizou as operações gargalo, corte e costura, e as não-gargalo e ainda o pulmão representava ao estoque de capas cortadas disponíveis para costura. Com essas ações foi possível reduzir em 62,5% o número de peças paradas já nos primeiros 6 meses e ainda reduzir 20% de desperdício de tempo de Mão de Obra Direta (MOD) em atividades que não agregavam valor. Após as mudanças a produção diária aumentou em 18%.

López e Grasel (2016) estudaram a implantação da TR através da Árvore de Realidade Atual (ARA), em uma unidade fabril da indústria metalúrgica. Devido ao aumento considerável de concorrência no ramo de atuação da empresa, ela

apresentava redução de participação no mercado e nos resultados, o que gerou má qualidade interna de seus produtos. São apresentados cinco ferramentas da TR. A ferramenta utilizada foi a ARA, para saber o que mudar.

Foram enumerados 38 Efeitos Indesejáveis (EI) neste caso. A partir da leitura da ARA desenvolvida foi possível identificar 4 EIs como problema raiz. A partir destas foram elencadas mais 4 EIs intuitivas como problema raiz. Com isso foram determinadas 10 ações para mitigar esses problemas, porém o estudo se limitou a identificar os problemas e não analisar a efetividade das ações.

Soares *et al.* (2009) analisaram a teoria das restrições em um processo de fabricação da indústria na construção civil. O estudo foi realizado em uma indústria de lajes pré-fabricadas, e o processo analisado foi o de fabricação de vigotas treplicas. Neste processo utilizava-se 100% da mão de obra e para casos de emergências necessitava de horas extras aos fins de semana. Sendo identificada a atividade do ferreiro como uma restrição desse processo, pois mesmo com aumento da demanda a mão-de-obra continuou sendo a mesma. Foi realizado o deslocamento de um operador de um processo não-gargalo, para compor uma atividade do ferreiro evitando futuras restrições na etapa anterior e ociosidade nesta atividade.

O leiaute foi ajustado de forma a melhorar o fluxo do processo. Outro ponto de análise foi a armazenagem, não havia espaço para treliças especiais que eram utilizadas esporadicamente e se encontravam alocadas em bancadas na produção.

A partir disso as compras de estoque foram subordinadas a restrição. Porém, mesmo após alocar um operador para a atividade de ferreiro, percebeu-se que não foi suficiente para atender a atual demanda. Com isso foi analisada a possibilidade de o fornecedor executar a atividade de corte e dobra, o que se mostrou viável já que seria mais barato e ocuparia menos espaço na indústria. Após eliminar esta restrição a empresa foi orientada a continuar atuando e mitigando outras restrições do processo para evitar a inercia do sistema. A redução dos custos de produção e operações ficaram em torno de 9,2% com essas alterações (SOARES *et al.*, 2009)

Dos artigos revisados, 4 realizaram uma análise posterior a implementação das ações levantadas com o estudo, destas 4 análises uma precisou revisar o processo novamente para mitigar, de fato, a restrição.

Os estudos e a aplicabilidade da TR nestas empresas, possibilitaram melhoria de processo, sequenciamento de produção e conseqüentemente melhora no resultado global, mesmo quando realizada em apenas um produto ou uma parte do

processo fabril. Após a conscientização da empresa, e a evidência de que este método funciona, é muito mais fácil replicar em outros processos ou produtos dentro da empresa.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Neste capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

Para Gil (2008) a pesquisa é utilizada quando não há informação ou quando esta encontra-se desordenada de forma a não poder ser relacionada com o problema, sendo uma forma de conhecer e fazer algo de forma mais eficiente ou eficaz.

Uma pesquisa de caráter descritivo, segundo Gil (2008) além de conhecer as variáveis e buscar descobrir a relação entre elas, pretende determinar a natureza da relação.

Para Silva e Menezes (2005) a pesquisa aplicada é um conjunto de ações com procedimentos racionais que visam encontrar a solução para um problema, do qual não se tem as informações para solucioná-lo. Sendo assim a natureza deste estudo, classifica-se como pesquisa aplicada, visto seu objetivo de gerar conhecimentos para aplicação prática e focado em solucionar um problema específico. Trata-se de uma pesquisa descritiva com análise de dados antes e depois com ajustes, e seu foco principal está em melhorar o desempenho do processo analisado e o que os dados encontrados significam.

Diante do exposto, a melhor referência para o desenvolvimento deste trabalho é de uma pesquisa de caráter descritivo, pois, existe a necessidade de buscar informações que não estão evidentes no processo.

Dentro da pesquisa descritiva foi realizado um estudo de caso, pois, segundo Gil (2008) o estudo de caso consiste num estudo profundo e exaustivo e que preserva o caráter unitário do objeto de estudo, que é o objeto deste trabalho.

Devido à complexidade do processo de coleta de dados deste trabalho, ainda devem ser utilizadas mais de uma técnica, para garantir a qualidade dos resultados obtidos e conferir validade ao estudo, utilizando a pesquisa documental e bibliográfica (GIL, 2008).

Para Gil (2008) a pesquisa documental vale-se de documentos que ainda não foram analisados ou que podem ser reelaborados para atender ao objetivo da pesquisa, sendo esta aplicada devido a necessidade de avaliar os documentos contidos nas áreas de apoio do processo, e relatórios de processo para obter as informações necessárias e encontrar as restrições de produção e reelaborando as planilhas para atender as necessidades da programação linear.

3.2 PROCEDIMENTOS PARA REVISÃO DA LITERATURA

Realizou-se uma pesquisa com as palavras-chave “teoria das restrições” com as referidas aspas no portal da Capes, de onde retornaram 72 resultados. Dentre esses resultados, a partir do título foram descartados os resultados que tratavam estritamente de pesquisa bibliográfica, abordando a teoria das restrições ou realizando comparações de bibliografia, visto que objetivava-se a busca por estudos práticos acerca da teoria das restrições. Assim sendo, foram selecionados 17 artigos, onde realizou-se uma análise dos resumos e principais resultados obtidos, selecionando 5 artigos que tratavam de estudos de caso em indústrias de segmentos diversificados.

3.3 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

Os procedimentos de coleta de dados, ocorreram entre 01/03/2018 e 30/04/2018 em uma indústria de eletrônicos na região sul do Brasil. Sendo sua produção formada por um alto volume de produtos eletrônicos. A empresa possui uma departamentalização estruturada onde cada departamento possui responsabilidades específicas dentro do processo produtivo.

A fim de identificar as restrições presentes nos processos produtivos, foi realizada uma reunião com aplicação de entrevista semiestruturada com o gerente de produção (responsável pela execução dos processos produtivos) e que também é o responsável pelo planejamento e controle de produção (programação de produção),

o supervisor da engenharia industrial (responsável pela organização do processo de produção), o coordenador de tecnologia da informação (responsável pelos *softwares* de rastreabilidade e interação dos processos) e um analista da área de controladoria (responsável pelo custeio dos produtos). Estes foram os 4 responsáveis de processos chamados a essa reunião e ainda, um sócio fundador e o gerente financeiro da empresa. A reunião ocorreu na primeira quinzena do mês de março de 2018. Com o objetivo de identificar as restrições existentes no processo, iniciou-se a entrevista semiestruturada, basicamente com o seguinte roteiro:

- Explicação do processo atual da fábrica;
- Exemplificação do processo de programação;
- Conceitos de programação linear e fatores de restrição;
- Análise do leiaute produtivo para identificar as restrições com base nos conceitos apresentados.

Após identificadas as restrições iniciais, os responsáveis por cada área definiram agendar nova reunião para discutir demais detalhes dos processos. Nesta reunião com duração de um dia, foram tratadas apenas as restrições relativas ao processo inicial da produção (processo automatizado).

Além da reunião com entrevista semiestruturada foi realizada uma observação no chão de fábrica, a fim de, evidenciar outras restrições do processo, na primeira quinzena do mês de abril de 2018, com o supervisor de produção que mostrou os processos realizados pela área e também as particularidades de alguns processos específicos.

Além das entrevistas e da observação realizada, coletaram-se planilhas para obter os dados necessários para esta pesquisa. A partir de uma planilha de Excel disponibilizado pela área de engenharia industrial foi possível identificar em quais linhas os produtos podem ser processados. A partir da premissa que nem todas as opções de montagem podem produzir todos os produtos, foi criada uma matriz que indica quais produtos podem ser produzidos em quais opções de montagem.

A área de engenharia industrial realiza também a cronoanálise, indicando o tempo de processamento do produto em cada opção de montagem. O relatório contendo os produtos e os tempos de processamento em cada opção de montagem foi obtido junto a área para realizar este estudo.

Foram coletados os relatórios de produção por produto e por opção de montagem do período analisado, contendo as quantidades produzidas. Essas

informações foram obtidas junto a área de planejamento da produção. Foi obtido um relatório com a quantidade de pedidos dos clientes e a quantidade entregue de cada produto, pois, a quantidade produzida e a quantidade entregue podem ser diferentes quando há estoque de segurança.

A margem de contribuição de cada produto, o valor de venda e o custo unitário foram obtidos junto a área de controladoria que possui as informações relevantes de custos. A margem de contribuição unitária é obtida no sistema gerencial e utiliza as informações imputadas no sistema.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico são apresentados os resultados obtidos no presente estudo e uma breve apresentação da empresa.

4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA E PROCESSO PRODUTIVO

A empresa está localizada na região Sul do Brasil, e foi fundada em 1994 a partir da necessidade do mercado de eletrônicos, que controlava e automatizava máquinas e necessitavam de integração dos componentes eletrônicos encontrados internacionalmente. Iniciava assim a terceirização dos serviços de montagem de produtos eletrônicos.

A unidade possui Processo de Tecnologia de Superfície (PTS), ou seja, realiza a soldagem eletrônica de componentes em uma ou nas duas superfícies de uma Placa de Circuito Impresso (PCI), que será analisada neste estudo, assim como a maioria do ramo. Seus principais fornecedores de insumos eletrônicos estão situados na China e seus principais clientes no Brasil. Produz uma gama de produtos para diversos setores, como energia, informática, automobilística, agricultura de precisão entre outros.

A empresa possui analistas de negócios que realizam a prospecção de clientes, eles possuem projetos específicos e a empresa apenas os materializa, visto que ela não realiza a criação de projetos eletrônicos.

Após acordo entre a área comercial da empresa e o cliente, este envia a documentação necessária para a realização da manufatura do produto. Dentre os documentos encontram-se a Lista de Material (LM), que contém todos os materiais necessários para realização do projeto, o projeto com todas as especificações da localização do componente na Placa de Circuito Impresso (PCI) e as especificações dos componentes como valor de capacitância, resistência, fornecedor específico, equivalentes, dentre outras especificações técnicas que são avaliadas pelas áreas de engenharia de produto, engenharia industrial e de qualidade.

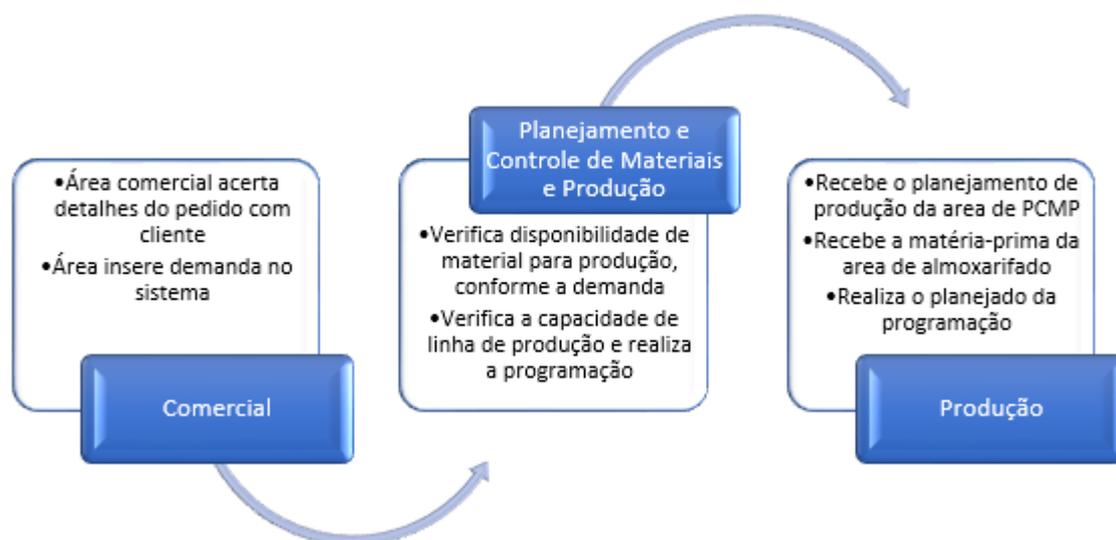


Figura 1: Processo Macro de Produção

Fonte: Dados da Pesquisa

De acordo com a avaliação das áreas técnicas, a área de orçamentos realiza as análises necessárias para encaminhar ao cliente a cotação dos produtos que possuem pedido, e após a aprovação da cotação pelo cliente, o pedido é inserido no sistema pela área comercial.

Paralelamente a isso, quando a lista de material é inserida no sistema pela área de engenharia de produto, já é possível realizar a verificação de disponibilidade de material no sistema, se há o material em estoque já é liberado pela área de planejamento de materiais e criada uma ordem de produção que realiza a reserva do material no sistema, garantindo a disponibilidade para aquela produção.

Quando não há material em estoque, a área de planejamento de materiais realiza uma requisição de compra via sistema que é analisada pela área de compras. Esta, realiza a cotação com fornecedores nacionais e internacionais, observando qualidade, preço, *lead time* (tempo de processamento) e as especificações enviadas pelo cliente. A maior parte dos fornecedores da empresa são internacionais, pois possuem uma variedade maior além de melhor custo/benefício.

Paralelamente ao processo de manufatura, a área de engenharia industrial realiza a inserção, no sistema, das etapas de produção necessárias para aquele determinado produto. Porém, é inserido no sistema apenas um roteiro genérico contendo as etapas necessárias para produção. As opções de montagem do produto

são relacionadas em uma planilha do Excel que é disponibilizada em uma pasta na rede interna da empresa, conforme a Tabela 1.

Nas colunas da Tabela 1 são relacionadas as opções de montagem de 1 a 8 (OP 1; OP 2; OP 3...) para o Produto 1 e as linhas indicam o lado 1, denominado *top* ou lado 2, denominado *bot*. A quantidade em preto indica que são produzidas 280 unidades do produto por hora na OP 1 e em azul na OP 2, nas demais opções não há quantidade porque não estão aptas a realizar a manufatura deste produto, seja pelo fabricante da linha, seja por máquinas específicas ou por programas de produção específicos de um produto.

Quando a identificação demonstra que não é possível montar naquela linha, significa que a linha não possui as especificações necessárias para realizar a produção, outra identificação é quando o produto não possui montagem de componentes em uma determinada face, os produtos possuem duas faces a *top* e a *bot*, neste exemplo do Produto 1 só há manufatura da face *top* da PCI, ainda existe a variável do perfil, onde não foi realizada a criação de um programa dentro do *software* da opção de produção para que seja possível manufaturar o produto. O Quadro 1 demonstra a legenda utilizada.

A partir das informações fornecidas pela área de engenharia industrial, a área de planejamento e controle da produção realiza a programação dos produtos que possuem data de entrega programada, conforme a capacidade da fábrica e disponibilidade de material o que geralmente ocorre até o 1º dia do mês de produção planejado.

Identificação	Legenda
X	Não montar nessa linha.
N	Produto não tem montagem de componentes SMD nessa face.
Número	Produto com cronoanálise para a linha.
Número	Produto sem cronoanálise para a linha, rate estimado.
	A montagem não é bloqueada para a linha, mas necessita avaliação antes da liberação.
FP	Falta de perfil

Quadro 1: Legenda da matriz de rates
Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 1: Exemplo de matriz de rates

Face	Produto	OP 1	OP 2	OP 3	OP 4	OP 5	OP 6	OP 7	OP 8
TOP	Produto 1	280	280	X	X	FP			
BOT	Produto 1	N	N	N	N	N	N	N	N

Fonte: Dados da Pesquisa

Na empresa existem dois processos macro de manufatura, o processo analisado é constituído de linhas automatizadas e o outro processo consiste na manufatura tradicional, montagem manual. Em grande parte, os produtos manufaturados, passam pelos dois processos de montagem.

O processo analisado é constituído por linhas de produção, com diferentes opções de montagem. A montagem ocorre na PCI, que possui dois lados, denominados, lado *top* e lado *bot*. Cada produto possui uma configuração de acordo com o projeto desenvolvido pelo cliente. Alguns produtos possuem montagem nas duas faces, outros em apenas uma delas, ou *top* ou *bot*.

Cada linha de produção possui suas próprias máquinas, e os recursos de mão de obra são dispostos de acordo com a necessidade do produto a ser fabricado. A Figura 2 demonstra a configuração básica de uma linha de produção composta por máquina 1, máquina 2, máquina 3 e operação 1 (apenas manual).

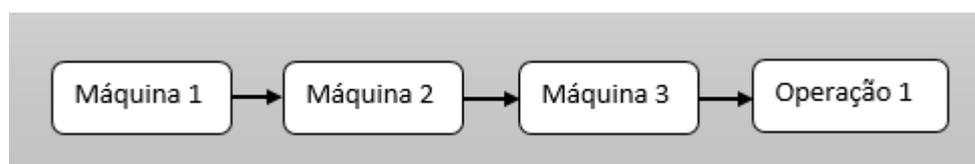


Figura 2: Fluxo de produção

Fonte: Dados da Pesquisa

As máquinas realizam processamentos diferentes entre si, porém uma é dependente da outra. A operação 1, que consiste em um controle de qualidade do produto, pode ser automatizado em 50% das linhas de produção. Basicamente a máquina 1, realiza um banho de solda na PCI, essa solda fará a ligação entre os componentes e a face da PCI. A máquina 2 são inseridoras automáticas, que realizam a inserção de cada componente em uma posição específica da PCI, conforme Figura 3.

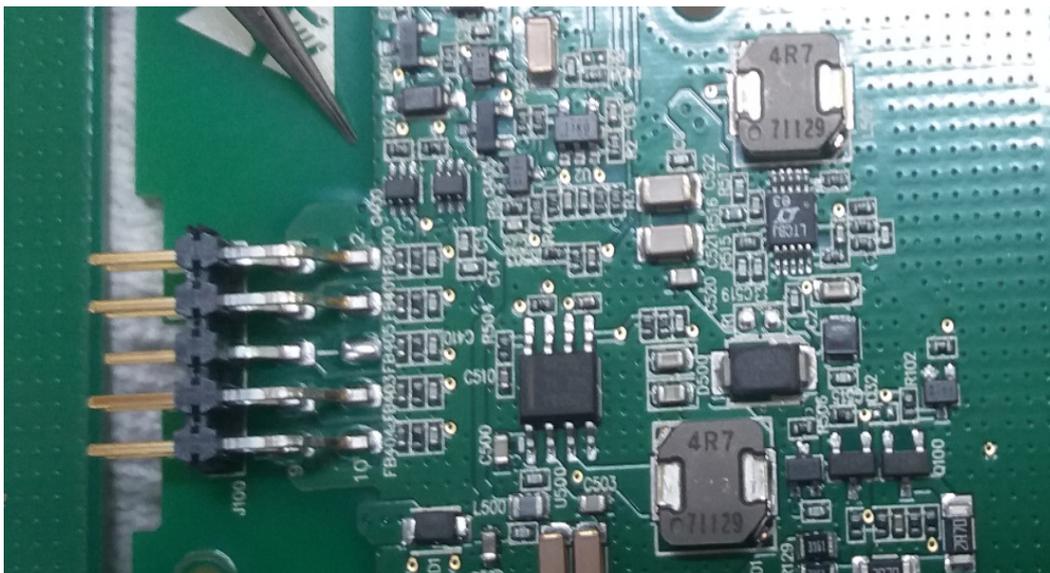


Figura 3: Exemplo do produto fabricado

Fonte: Dados da Pesquisa

A máquina 3 é um forno de refusão que realiza o aquecimento em níveis diferentes por produto, para que a pasta de solda inserida na máquina 1 realize a ligação com os componentes inseridos na máquina 2. A operação 1 é um controle de qualidade manual. O controle de qualidade é utilizado para verificar a soldabilidade dos componentes, a montagem na posição correta, fixação dos componentes à PCI, entre outros pontos críticos que podem ter falha nos processos anteriores.

Das linhas de produção, 50% são do fabricante X e 50% do fabricante Y, isso faz com que os produtos possam ser fabricados em uma linha de montagem e em outra não. Para cada produto, é necessário uma programação de máquina específica. Só é possível manufacturar um produto que possui uma programação de máquina já criada naquela linha.

Outro ponto importante é que, dentre as linhas de produção, apenas 10% possui soldagem livre de chumbo na composição da pasta de solda. Nestas linhas só é possível manufacturar produtos que utilizam este tipo de solda. Da mesma forma os produtos que utilizam solda livre de chumbo não podem rodar em outras linhas.

4.2 RESTRIÇÕES IDENTIFICADAS

Da mesma forma que Fernandes *et al.* (2009) realizou-se uma investigação com a empresa estudada para conhecer as restrições do processo e realizar a aplicação da teoria das restrições em um modelo adaptado e um teste efetivo do processo produtivo, utilizando dados ilustrativos das possibilidades de ganho da empresa. Os dados são ilustrativos pois baseiam-se numa possibilidade, visto que a aplicação da ferramenta foi realizada num período já finalizado pela empresa.

Na primeira reunião foram realizadas análises com base em um esboço do processo produtivo, conforme Figura 04. Foi definido que o processo automatizado demonstrado na Figura 04, pode-se dividir em duas operações *Top* e *Bot* e que os mesmos podem ser programados em opções de montagem diferenciadas. Os processos *top* e *bot*, são assim descritos devido a face de montagem da Placa de Circuito Impresso (PCI), sendo sua face superior *top* e sua face inferior *bot*.

No início do processo há um conjunto de máquinas que foi nomeado como linha de operações, após o início do processamento de um produto ele só é retirado na última das máquinas, por isso foi definido que as máquinas seriam tratadas como um conjunto para facilitar a programação e o sequenciamento de produção. Ao final deste conjunto de máquinas há uma pessoa que realiza a inspeção visual individual dos produtos, para esta operação foi definido que será realizada programação pois o tempo de processamento das máquinas e desta operação manual é diferente e podem ser necessárias mais pessoas dependendo do volume de produção. Cada conjunto de máquinas e inspeção visual é uma opção de produção, descritos na Figura 04 como SMT1301, por exemplo. A nomenclatura SMT1301 é própria da empresa e descreve sua opção de produção.

Nesse conjunto de processos ainda há a inspeção automática, porém para as 10 opções de montagem há apenas 5 máquinas que realizam esse processo. A área de planejamento e controle de produção informou que há uma crescente demanda, por parte dos clientes, para que sejam realizadas inspeções automáticas em mais produtos o que está gerando um atraso na programação a fim de incluir na programação essa necessidade, ou seja, uma restrição na capacidade relacionada a inspeção automática.

Outra restrição identificada foi o fabricante das máquinas que possuem nas opções de montagem. Das 10 opções, 5 são do fabricante X e outras 5 do fabricante Y. Cada produto possui um projeto específico, de acordo com a especificidade do produto ele pode ser produzido apenas nas opções com as máquinas do fabricante X, ou vice-versa. Cada opção de montagem funciona com um *software* específico do fabricante e, cada produto deve ter uma programação do processo criada nesse *software*, ou seja, o produto 1 só pode ser produzido nas opções de montagem do fabricante X (opções de 1 a 5), porém, só será possível produzir se a área de engenharia industrial criou previamente um programa de produção nessas opções de montagem. A área de engenharia industrial relatou que está trabalhando para criar os programas de máquina para todos os produtos, porém, isso só será possível de médio a longo prazo.

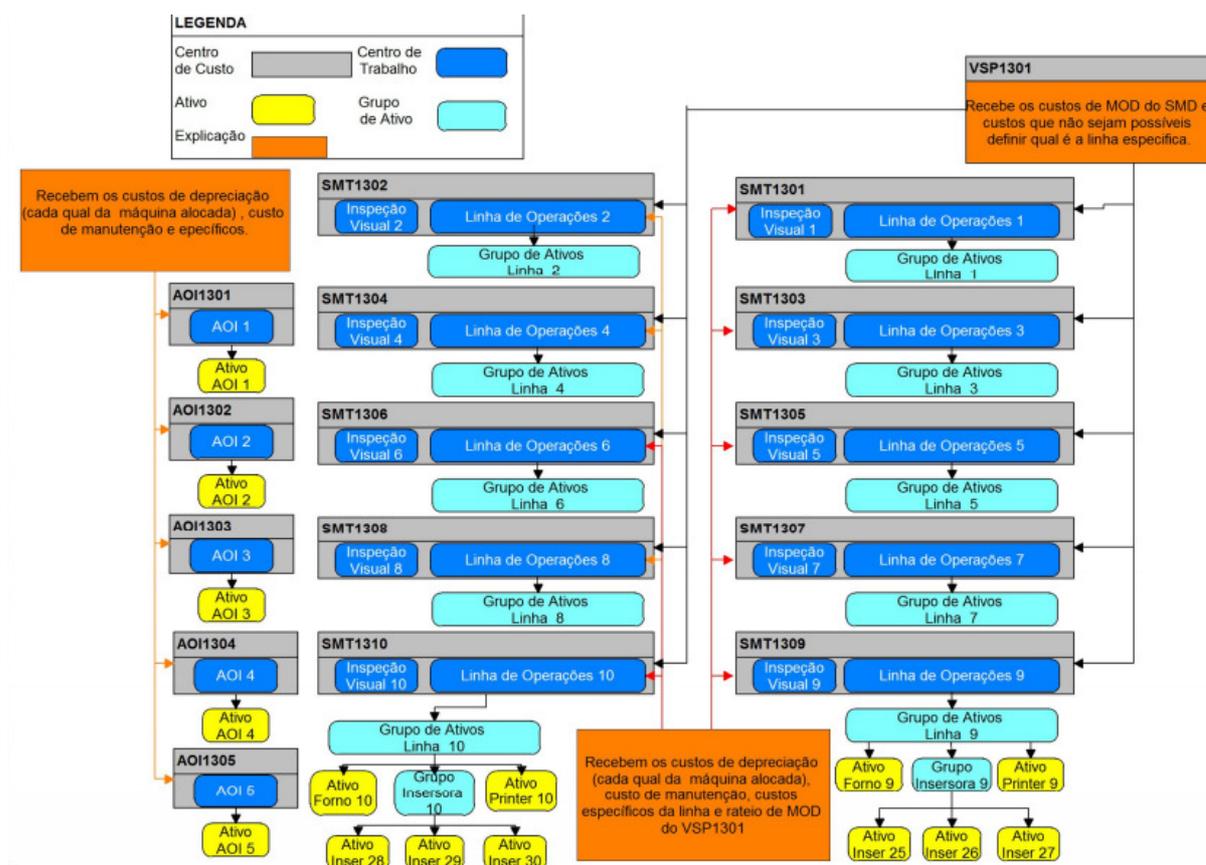


Figura 4: Processo de Montagem 1

Fonte: Dados da Pesquisa

Além das pessoas que realizam a inspeção visual no final de cada opção de montagem, há ainda os operadores das máquinas que realizam o abastecimento das máquinas com os componentes necessários para a produção. A quantidade de

peças qualificadas para esta função também foi tida como uma restrição, pois o treinamento de uma pessoa para ocupar tal função é de no mínimo 6 meses.

No sequenciamento de produção, a preparação para cada opção de montagem foi desconsiderada como sendo uma possibilidade de restrição, pois, optou-se por realizar esta preparação em área destinada a este fim, com programação separada e antecipada.

Durante a observação realizada evidenciou-se que há, dois sistemas que realizam o controle de produção no chão de fábrica: um gerencial e outro de rastreabilidade dos processos. A partir da análise dos dados do sistema de rastreabilidade dos processos é possível evidenciar o momento real em que um produto foi processado em determinada etapa produtiva, além de informações como aprovação do produto, operador que realizou o processamento, a opção de montagem e os componentes eletrônicos utilizados.

No sistema gerencial, são carregadas as informações de rastreabilidade do produto e de seus componentes eletrônicos, a baixa do estoque, as contabilizações, entre outras informações gerenciais.

No processo de observação, foi realizada uma verificação das máquinas que foram agrupadas em cada opção de montagem conforme descrito na Figura 02. Em algumas opções de montagem foi verificado que havia um ferramental que não havia sido mencionado na reunião. Este ferramental possui 3 unidades na empresa, é compatível com qualquer uma das 10 opções de montagem disponíveis. Este ferramental supre a necessidade de compatibilizar a inserção de componentes que possuem embalagem em bandeja, porém o tipo de embalagem (rolo ou bandeja) só é conhecido quando é liberado para o processo produtivo. Com isso esse ferramental torna-se uma restrição, pois, se mais de 3 opções de montagem necessitarem deste ferramental a 4ª opção de montagem deverá ser bloqueada até que uma das três disponibilizem o ferramental.

A área de engenharia industrial da empresa informou que de acordo com o fornecedor é a embalagem recebida e não há como diferenciar no sistema o tipo de embalagem. Os componentes eletrônicos recebidos pela empresa são armazenados na embalagem original recebida do fabricante. Maior parte dos componentes recebidos são armazenados em rolos e possuem enfitamento, porém, há fabricantes que disponibilizam os componentes somente em bandejas. Os componentes que são

recebidos em bandejas necessitam deste ferramental para que a máquina receba o componente de forma adequada para inserir na PCI.

A área de planejamento de produção informou ser inviável a inserção de uma restrição com este ferramental, pois, como os componentes eletrônicos que estão armazenados em bandejas não possuem nenhum dado no sistema que os diferencie dos demais, torna-se inviável a programação de material, pois esta é realizada automaticamente no sistema gerencial.

4.3 RESTRIÇÕES DO PROCESSO TRATADAS COM O *SOLVER*

Luchese *et al.* (2016) analisaram a implantação da lógica tambor-pulmão-corda para reduzir a quantidade de estoque de produtos entre os setores, com auxílio de uma consultoria externa alavancando a produção diária em 18%. López e Grasel (2016) concentraram-se na implantação da teoria das restrições através da Árvore de Realidade Atual (ARA), para saber o que mudar na empresa e torná-la mais competitiva, avaliando os efeitos indesejáveis. Já no presente estudo foi utilizada a programação linear a partir da teoria das restrições para possibilitar um melhor aproveitamento no sequenciamento do processo produtivo.

Após verificar as restrições identificadas através da reunião e da observação realizada no processo produtivo, definiu-se pela análise relativa ao sequenciamento de produção, levando em consideração as opções de montagem que possuem o programa de máquina já cadastrado pela área de engenharia industrial.

As demais restrições fazem parte do processamento destes produtos e não podem ser analisados isoladamente, desta forma, essa restrição era a que satisfazia as condições necessárias para análise da ferramenta *Microsoft Office Excel Solver*®.

A empresa possui um alto volume de produtos e para melhor realizar o estudo, foi realizada uma análise dentre todos os produtos fabricados nos meses de março e abril. A ferramenta *Microsoft Office Excel Solver*® apresentou uma restrição, onde só é possível alterar simultaneamente 200 variáveis. A empresa processou uma média de 53 produtos no período analisado, com 8 opções de montagem. A ferramenta *Microsoft Office Excel Solver*® necessita avaliar todas as variáveis para resolver o problema, porém, as 8 opções e 53 produtos totalizam 424 variáveis.

Desta forma, foi necessário realizar uma seleção de produtos. As opções de montagem foram limitadas em 8, visto que, 2 opções encontravam-se paralisadas para manutenção nesse período. Devido à restrição de 200 variáveis do *Microsoft Office Excel Solver®*, foi possível selecionar apenas 25 produtos, selecionados aleatoriamente no primeiro período. Os 17 produtos que se repetiram no segundo mês foram replicados e outros 8 produtos foram selecionados aleatoriamente, chegando ao limite de 200 variáveis para resolução do problema.

Foram selecionados os produtos com opções múltiplas de montagem nas linhas de produção e numerados de 1 a 25 no mês de março, no mês de abril, foram 17 dos 25 produzidos no mês anterior e mais 8 produtos novos numerados de 26 a 33. Foi relacionada a quantidade produzida no mês e a quantidade que havia pedidos no mesmo mês, resultando na Tabela 2 para o período de março.

Tabela 2: Produção e pedidos em março de 2018

Produto	Quantidade produzida	Pedidos
Produto 1	48	53
Produto 2	20	22
Produto 3	100	110
Produto 4	9652	10617
Produto 5	398	438
Produto 6	1	1
Produto 7	120	132
Produto 8	408	449
Produto 9	2000	2200
Produto 10	592	651
Produto 11	374	411
Produto 12	15000	16500
Produto 13	2554	2809
Produto 14	216	238
Produto 15	270	297
Produto 16	300	330
Produto 17	91	100
Produto 18	15	17
Produto 19	34	37
Produto 20	144	158
Produto 21	1210	1331
Produto 22	378	416
Produto 23	492	541
Produto 24	1936	2130
Produto 25	103	113

Fonte: Dados da pesquisa

É possível perceber que apenas o Produto 6 no mês de março possui quantidade produzida igual a demanda, já no mês de abril os produtos 3, 4, 5, 6, 21, 22, 27, 28, 29, 31 e 32 atenderam a demanda. Isso ocorreu pois devido à falta de análise na programação das opções de montagem, ocorreu falta de capacidade em determinados dias que antecederam a entrega do pedido.

Tabela 3: Produção e pedidos em abril de 2018

Produto	Quantidade produzida	Pedidos
Produto 3	100	100
Produto 4	7093	7093
Produto 5	400	400
Produto 6	135	135
Produto 7	119	120
Produto 8	124	300
Produto 9	16	25
Produto 10	334	454
Produto 12	24828	34000
Produto 15	116	160
Produto 16	500	560
Produto 17	60	100
Produto 19	10	20
Produto 20	104	112
Produto 21	985	985
Produto 23	445	445
Produto 24	2277	3192
Produto 26	5	15
Produto 27	51	51
Produto 28	697	697
Produto 29	5353	5353
Produto 30	230	250
Produto 31	2925	2925
Produto 32	200	200
Produto 33	16	20

Fonte: Dados da pesquisa

4.3.1 Análise Da Matriz De Linhas

O departamento de engenharia industrial realiza o controle e o ajuste de programação das máquinas de acordo com o produto a ser produzido. Este mesmo departamento criou uma matriz, onde de acordo com cada linha e sua disposição de máquinas estão descritos os produtos que podem ser produzidos por ela. A partir disso evidenciou-se uma restrição, pois um produto nem sempre pode rodar em todas as linhas disponíveis. Ainda, de acordo com as especificações da linha é possível produzir quantidades diferentes em cada linha, devido à eficiência da linha e/ou especificidade do produto.

Tabela 4: Matriz mês de março de 2018 – Unidades por hora

Produto	OP 1	OP 2	OP 3	OP 4	OP 5	OP 6	OP 7	OP 8
Produto 1	280	280						
Produto 2	500	500						
Produto 3				90		90		90
Produto 4				425	420	530	420	530
Produto 5				150		150		
Produto 6						100		100
Produto 7						86		86
Produto 8		233		200	200			240
Produto 9				260		260		260
Produto 10	100	100		98	100			110
Produto 11				71			71	
Produto 12			804	804	804	804	804	
Produto 13				105		105		105
Produto 14				260		260		260
Produto 15	512	512						
Produto 16	648	648						
Produto 17	720	720						
Produto 18	456	456						
Produto 19	47	47						
Produto 20				36		36		
Produto 21	111	111						
Produto 22	256							512
Produto 23	58							58
Produto 24	816							816
Produto 25				100		100		100

Fonte: Dados da pesquisa

Relaciona-se na Tabela 4 as quantidades possíveis de produção das 8 opções de montagem (OP 1 a OP 8) distribuídas dentre os 25 produtos selecionados.

As opções de produção podem sofrer alterações, devido a mudança de máquinas, mudança de *softwares* de programação o que pode alterar a matriz de produção, desta forma ela é constantemente atualizada, para o período de abril foram levantados os dados que constam na Tabela 5. Em cada coluna está indicada a quantidade de unidades processadas por hora, em cada opção de produção.

Tabela 5: Matriz mês de abril de 2018 – Unidades por hora

Produto	OP 1	OP 2	OP 3	OP 4	OP 5	OP 6	OP 7	OP 8
Produto 3				90		90		90
Produto 4				426	420	530	420	530
Produto 5						150		
Produto 6						100		100
Produto 7						86		86
Produto 8		233		200	200			240
Produto 9				260			268	
Produto 10	100	100		98	100			110
Produto 12			804	804	804	804	804	
Produto 15	512	512						
Produto 16	648	648						
Produto 17	720	720						
Produto 19	47	47						
Produto 20				36		36		
Produto 21	111	111						
Produto 23	58							58
Produto 24	816							816
Produto 26	100							
Produto 27								196
Produto 28								196
Produto 29								224
Produto 30						390		390
Produto 31				60				50
Produto 32					124			350
Produto 33			636		636		960	

Fonte: Dados da pesquisa

A fábrica é planejada para que a produção total ocupe apenas uma capacidade reduzida de 85%, visto que a quantidade de produção por hora não estima tempo de troca de componentes após estes serem inseridos nas linhas de produção, entre outras variáveis como tempo(horas) de manutenção das linhas que gira em torno de 2% a 3% de manutenção no mês.

4.3.2 Margem De Contribuição

Foram levantadas as margens de contribuição, de cada produto em cada mês analisado. É possível evidenciar que existem margens negativas, isso se deve ao fato de que como a empresa trabalha com um volume de produção muito diversificado, alguns clientes produzem um combo de produtos, quando realizada a análise em conjunto a margem torna-se positiva, porém, quando analisado individualmente encontraram-se margens negativas. A empresa precisa atender a demanda do conjunto contratado, desta forma, os produtos com margem negativa devem ser produzidos. A margem de contribuição de cada produto foi obtida conforme Tabela 6, nos meses de março e abril.

Tabela 6: Margem de Contribuição Unitária

Produto	Margem Março		Margem Abril	
Produto 1	R\$	1.308,88		
Produto 2	R\$	1.308,88		
Produto 3	R\$	191,52	R\$	145,45
Produto 4	-R\$	3,56	-R\$	15,17
Produto 5	R\$	21,59	R\$	12,58
Produto 6	R\$	55,94	R\$	51,98
Produto 7	R\$	254,29	R\$	163,87
Produto 8	R\$	17,17	R\$	3,69
Produto 9	-R\$	1,52	-R\$	5,35
Produto 10	R\$	42,75	R\$	11,60
Produto 11	R\$	73,58		
Produto 12	R\$	4,07	R\$	0,62
Produto 13	-R\$	8,36		
Produto 14	R\$	38,36		
Produto 15	R\$	23,25	R\$	14,06
Produto 16	-R\$	13,44	-R\$	22,04
Produto 17	R\$	7,24	R\$	3,12
Produto 18	R\$	64,69		
Produto 19	R\$	107,12	R\$	3,96
Produto 20	R\$	69,81	-R\$	40,29
Produto 21	R\$	46,87	R\$	29,96
Produto 22	R\$	31,04		
Produto 23	R\$	142,17	R\$	74,27
Produto 24	R\$	13,61	R\$	8,88
Produto 25	R\$	229,15		
Produto 26			R\$	91,94

Produto	Margem Março	Margem Abril
Produto 27	R\$	21,55
Produto 28	R\$	26,52
Produto 29	-R\$	3,53
Produto 30	R\$	43,86
Produto 31	-R\$	6,04
Produto 32	R\$	26,49
Produto 33	-R\$	4,71

Fonte: Dados da pesquisa

É possível verificar que há diferenças entre as margens de contribuição de um mês para outro, isso ocorre por diferenças no preço de material importado, perdas de componentes no processo produtivo que somam-se ao produto como consumo adicional.

4.3.3 Utilização Da Ferramenta *Microsoft Office Excel Solver*®

Para execução da ferramenta *Microsoft Office Excel Solver*® foram utilizadas as Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6, porém, identificou-se a necessidade de uma tabela com o tempo em minutos por unidade produzida, necessitando a criação de uma nova tabela, demonstrado na Tabela 7.

Na Tabela 7 dividiu-se o tempo (60 minutos) pela quantidade produzida por hora, dispostas nas Tabelas 4 e 5. Desta forma, foi possível obter o tempo (minuto) necessário para cada unidade produzida.

O objetivo foi maximizar a contribuição total dos produtos no resultado da empresa, alterando as células que continham as quantidades produzidas, chamadas pelo *Microsoft Office Excel Solver*® de células variáveis. As células variáveis não possuem fórmulas, pois devem estar sujeitas as alterações da ferramenta. Em relação à maximização do resultado, é importante observar que todas as células que determinam o valor do objetivo necessitam de fórmulas com a finalidade de receber as atualizações da ferramenta para que possam ser testadas as interações.

Ao realizar as primeiras tentativas de resolver o problema, a ferramenta alterou os valores de inteiros para fracionados, porém a empresa trabalha somente com unidades inteiras, neste caso, coube uma restrição para que as células variáveis contivessem apenas valores inteiros.

Outra falha antes da resolução ocorreu ao vincular uma das fórmulas que continha a quantidade produzida em cada opção de produção, esta fórmula somava para o mesmo produto as células de cada opção, porém a ferramenta tentava maximizar todas as células, gerando sobrecarga e erro, pois atribuía valores às opções de produção que não estavam disponíveis, para este caso, a fórmula com a soma das unidades produzidas foi alterada para que realizasse a soma apenas das células onde a opção era válida para o produto, resolvendo este problema.

Tabela 7: Tempo(minutos) por unidade

Produto	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5	OP6	OP7	OP8
Produto 3	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00	0,67	0,00	0,67
Produto 4	0,00	0,00	0,00	0,14	0,14	0,11	0,14	0,11
Produto 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00
Produto 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,60
Produto 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,00	0,70
Produto 8	0,00	0,26	0,00	0,30	0,30	0,00	0,00	0,25
Produto 9	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,22	0,00
Produto 10	0,60	0,60	0,00	0,61	0,60	0,00	0,00	0,55
Produto 12	0,00	0,00	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00
Produto 15	0,12	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Produto 16	0,09	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Produto 17	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Produto 19	1,28	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Produto 20	0,00	0,00	0,00	1,67	0,00	1,67	0,00	0,00
Produto 21	0,54	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Produto 23	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03
Produto 24	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
Produto 26	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Produto 27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31
Produto 28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31
Produto 29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
Produto 30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,15
Produto 31	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,20
Produto 32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,17
Produto 33	0,00	0,00	0,09	0,00	0,09	0,00	0,06	0,00

Fonte: Dados da pesquisa

Os parâmetros utilizados para que a resolução do problema ocorresse são os demonstrados na Figura 7, descritos na sequência numérica:

- 1 O objetivo foi definido como o resultado da soma das margens de contribuição total de cada produto;

- 2 Foi definido como o máximo valor possível na célula objetivo (margem de contribuição total);
- 3 Foram selecionadas as células variáveis que deveriam ser alteradas para maximizar o resultado da célula objetivo demonstrada na Figura 5, conjunto de células Z3:AG27;
- 4 As restrições inseridas na ferramenta foram:
 - a. A quantidade produzida fosse menor ou igual a quantidade de pedidos do mês, garantindo que todos os produtos fossem comercializados conforme coluna BA da Figura 5;
 - b. Foi determinada a quantidade mínima a se produzir (quantidade produzida no mês anterior), conforme coluna AY da Figura 5;

	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AR	AW	AX	AY	AZ	BA	BB
1																
2	Material	3	4	5	6	7	8	9	10	Prod		Produto	Mínimo	Margem	Pedidos	Margem total
3	Produto 3	0	0	0	99	0	0	0	0	1	100	Produto 3	100	145,45	100,00	14.544,58
4	Produto 4	0	0	0	0	0	0	7093	0	7093		Produto 4	7093	- 15,17	7.093,00	- 107.575,98
5	Produto 5	0	0	0	0	0	400	0	0	400		Produto 5	400	12,58	400,00	5.031,28
6	Produto 6	0	0	0	0	0	135	0	0	135		Produto 6	135	51,98	135,00	7.017,70
7	Produto 7	0	0	0	0	0	120	0	0	120		Produto 7	119	163,87	120,00	19.664,05
8	Produto 8	0	36	0	46	171	0	0	47	300		Produto 8	124	3,69	300,00	1.105,80
9	Produto 9	0	0	0	16	0	0	0	0	16		Produto 9	16	- 5,35	25,00	- 85,55
10	Produto 10	54	322	0	17	30	0	0	31	454		Produto 10	334	11,60	454,00	5.266,37
11	Produto 12	0	0	24828	0	0	0	0	0	24828		Produto 12	24828	0,62	34.000,00	15.397,33
12	Produto 15	141	19	0	0	0	0	0	0	160		Produto 15	116	14,06	160,00	2.249,80
13	Produto 16	500	0	0	0	0	0	0	0	500		Produto 16	500	- 22,04	560,00	- 11.019,80
14	Produto 17	81	19	0	0	0	0	0	0	100		Produto 17	60	3,12	100,00	312,35
15	Produto 19	20	0	0	0	0	0	0	0	20		Produto 19	10	3,96	20,00	79,20
16	Produto 20	0	0	0	94	0	10	0	0	104		Produto 20	104	- 40,29	112,00	- 4.189,73
17	Produto 21	985	0	0	0	0	0	0	0	985		Produto 21	985	29,96	985,00	29.510,51
18	Produto 23	393	0	0	0	0	0	0	52	445		Produto 23	445	74,27	445,00	33.050,35
19	Produto 24	2734	0	0	0	0	0	0	458	3192		Produto 24	2277	8,88	3.192,00	28.330,82
20	Produto 26	15	0	0	0	0	0	0	0	15		Produto 26	5	91,94	15,00	1.379,12
21	Produto 27	0	0	0	0	0	0	0	51	51		Produto 27	51	21,55	51,00	1.099,23
22	Produto 28	0	0	0	0	0	0	0	697	697		Produto 28	697	26,52	697,00	18.482,30
23	Produto 29	0	0	0	0	0	0	0	5353	5353		Produto 29	5353	- 3,53	5.353,00	- 18.896,52
24	Produto 30	0	0	0	0	0	9	0	241	250		Produto 30	230	43,86	250,00	10.965,10

Figura 5: 1ª e 2ª Restrição Solver

Fonte: Dados da pesquisa

- c. A terceira restrição refere-se à capacidade das linhas de produção, cada opção de produção possui capacidades diferenciadas, visto que são opções com máquinas e *softwares* diferentes, sendo assim, a capacidade foi restrita ao máximo possível para se utilizar conforme demonstrado na Figura 6 e na Tabela 8 onde é possível verificar que há opções de produção em que o percentual de utilização não foi alterado, pois ou não sofreram alterações

no produto e quantidade ou otimizou, produzindo outro produto com necessidade de capacidade equivalente.

Tabela 8: Capacidade por opção de montagem

Opção	MARÇO			ABRIL		
	Capacidade Utilizada	Solver	Variação	Capacidade Utilizada	Solver	Variação
OP 1	96,13%	96,61%	0,47%	97,12%	99,90%	2,78%
OP 2	81,72%	81,89%	0,17%	97,15%	99,94%	2,79%
OP 3	94,71%	94,71%	0,00%	93,13%	93,13%	0,00%
OP 4	75,06%	75,93%	0,88%	91,01%	93,52%	2,51%
OP 5	62,67%	62,67%	0,00%	39,07%	67,45%	28,38%
OP 6	92,86%	93,21%	0,34%	77,15%	81,51%	4,36%
OP 7	96,22%	96,22%	0,00%	95,29%	95,29%	0,00%
OP 8	40,66%	44,31%	3,66%	95,16%	97,92%	2,75%
Total			5,52%			43,57%

Fonte: Dados da pesquisa

- d. A quarta restrição se refere ao conteúdo das células variáveis (Z3:AG27) que neste contexto devem ser compostas somente por números inteiros, visto que a empresa não possui produtos fracionados.

	AS	AT	AU	AV
1				
2	Opção	Capacidade	Utilização	Sobra
3	3	1279,52	1280,75	1,23
4	4	210,28	210,40	0,12
5	5	1859,35	1996,50	137,15
6	6	256,57	274,36	17,79
7	7	76,30	113,12	36,82
8	8	350,77	430,36	79,58
9	9	1022,29	1072,86	50,57
10	10	3015,30	3079,49	64,19

Figura 6: 3ª Restrição Solver

Fonte: Dados da pesquisa

- 5 Após a inserção de todos os dados o *Microsoft Office Excel Solver*® realiza a resolução das variáveis.

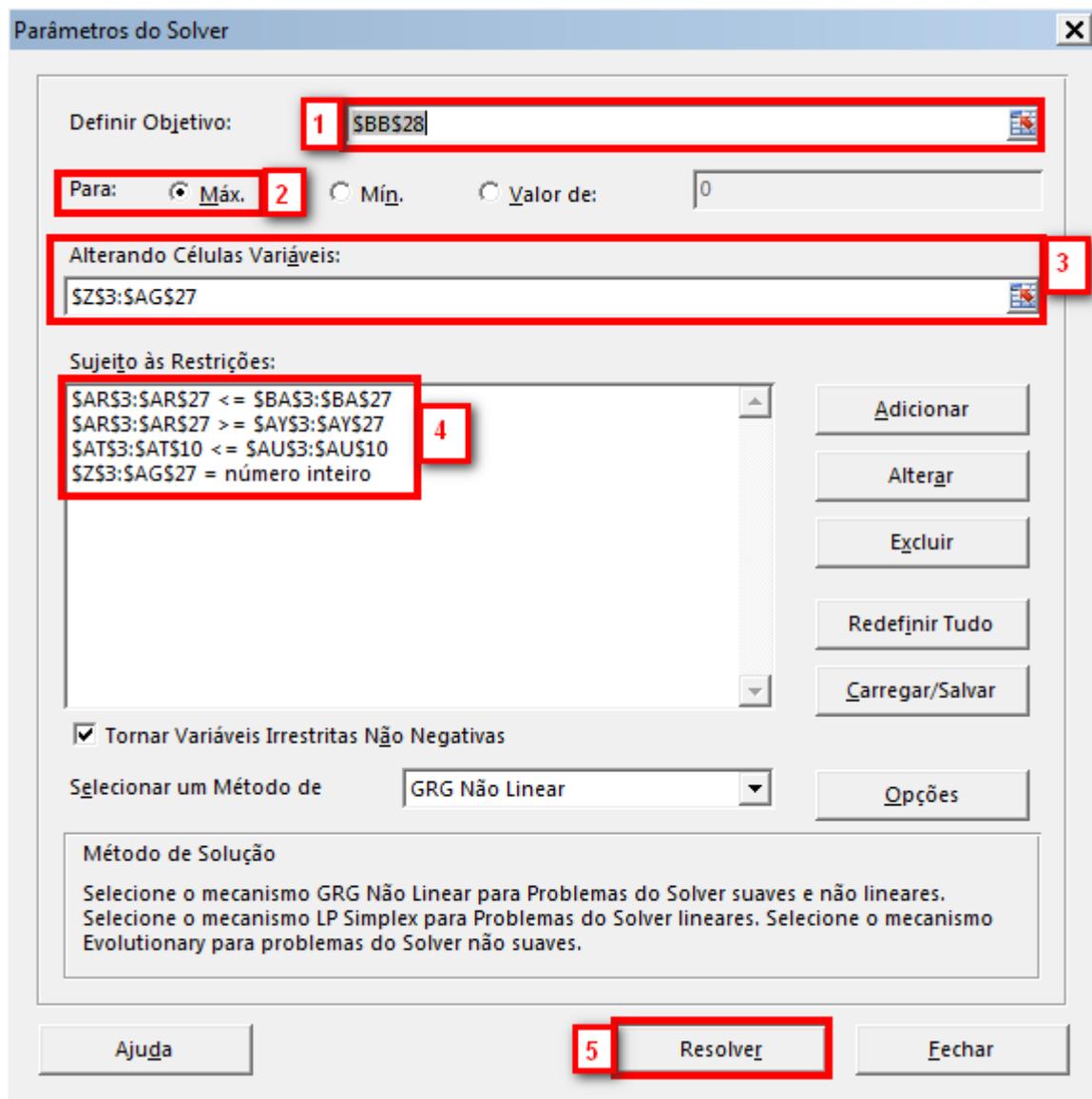


Figura 7: Parâmetros do Solver

Fonte: Software Microsoft Office Excel

Para o limite mínimo definiu-se a quantidade produzida no período analisado e a quantidade máxima o total de pedidos. No dia-a-dia a empresa possui o compromisso de entregar pelo menos 85% do pedido, previsto em contrato.

Nas primeiras tentativas sem sucesso foi necessário realizar as correções necessárias e vincular corretamente as fórmulas, somando a margem de contribuição total, resultante da multiplicação da margem unitária pela quantidade fornecida pela ferramenta, foi possível resolver o problema.

Ainda, ao tentar resolver o problema com todos os produtos que a empresa produziu no mês, a ferramenta apresentou o aviso que consta na Figura 8.

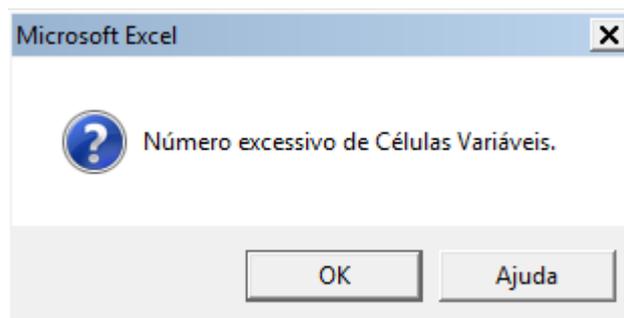


Figura 8: Erro Excel

Fonte: Software Microsoft Office Excel

4.4 COMPARAÇÃO MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO

Anterior a resolução do problema a margem de contribuição do total dos produtos selecionados era de R\$14.347,51, conforme Tabela 9.

Na Tabela 9 são apresentadas a quantidade produzida no mês de março que foi faturada, o valor unitário de faturamento, que já líquido de impostos, o total do faturamento, o custo médio móvel (CMM) unitário, o custo total variável e a margem de contribuição total apurada.

Tabela 9: Margem de Contribuição mês de março de 2018

Produto	Quantidade	Valor Unitário	Faturamento	Custo Médio	Custo variável	Margem de Contribuição
Produto 1	48	1.653,75	79.380,00	791,12	37.973,76	41.406,24
Produto 2	20	1.653,75	33.075,00	791,12	15.822,40	17.252,60
Produto 3	100	308,67	30.866,85	200,44	20.044,00	10.822,85
Produto 4	9652	25,79	248.931,11	36,31	350.464,12	- 101.533,01
Produto 5	398	56,33	22.419,29	49,94	19.876,12	2.543,17
Produto 6	1	83,83	83,83	50,51	50,51	33,32
Produto 7	120	404,83	48.579,62	259,78	31.173,60	17.406,02
Produto 8	408	47,49	19.377,60	43,14	17.601,12	1.776,48
Produto 9	2000	12,56	25.121,25	17,47	34.940,00	- 9.818,75
Produto 10	592	103,97	61.547,72	89,27	52.847,84	8.699,88
Produto 11	374	222,54	83.229,82	209,01	78.169,74	5.060,08
Produto 12	15000	14,25	213.688,13	14,02	210.300,00	3.388,13
Produto 13	2554	82,84	211.566,02	113,55	290.006,70	- 78.440,68
Produto 14	216	56,39	12.180,86	33,25	7.182,00	4.998,86
Produto 15	270	42,38	11.443,48	30,57	8.253,90	3.189,58

Produto	Quantidade	Valor Unitário	Faturamento	Custo Médio	Custo variável	Margem de Contribuição
Produto 16	300	21,46	6.437,81	40,69	12.207,00	- 5.769,19
Produto 17	91	19,15	1.742,83	17,08	1.554,28	188,55
Produto 18	15	71,14	1.067,14	25,65	384,75	682,39
Produto 19	34	387,54	13.176,25	384,99	13.089,66	86,59
Produto 20	144	290,06	41.768,62	298,52	42.986,88	- 1.218,26
Produto 21	1210	68,50	82.881,07	40,11	48.533,10	34.347,97
Produto 22	378	106,71	40.334,96	104,46	39.485,88	849,08
Produto 23	492	292,07	143.697,46	228,71	112.525,32	31.172,14
Produto 24	1936	21,14	40.920,26	13,23	25.613,28	15.306,98
Produto 25	103	420,45	43.306,77	304,76	31.390,28	11.916,49
Margem de Contribuição Total Mês de Março						14.347,51

Fonte: Dados da pesquisa

Na Tabela 10 estão demonstrados os resultados obtidos após a programação linear executada pela ferramenta *Microsoft Office Excel Solver*®.

Tabela 10: Margem de Contribuição mês de março de 2018 - Modificado

Produto	Quantidade	Custo Unitário	Faturamento	Custo Médio	Custo variável	Margem de Contribuição
Produto 1	53	1.653,75	87.648,75	791,12	41.929,36	45.719,39
Produto 2	22	1.653,75	36.382,50	791,12	17.404,64	18.977,86
Produto 3	110	308,67	33.953,54	200,44	22.048,40	11.905,14
Produto 4	9652	25,79	248.931,11	36,31	350.464,12	- 101.533,01
Produto 5	398	56,33	22.419,29	49,94	19.876,12	2.543,17
Produto 6	1	83,83	83,83	50,51	50,51	33,32
Produto 7	132	404,83	53.437,58	259,78	34.290,96	19.146,62
Produto 8	408	47,49	19.377,60	43,14	17.601,12	1.776,48
Produto 9	2000	12,56	25.121,25	17,47	34.940,00	- 9.818,75
Produto 10	592	103,97	61.547,72	89,27	52.847,84	8.699,88
Produto 11	374	222,54	83.229,82	209,01	78.169,74	5.060,08
Produto 12	15000	14,25	213.688,13	14,02	210.300,00	3.388,13
Produto 13	2554	82,84	211.566,02	113,55	290.006,70	- 78.440,68
Produto 14	219	56,39	12.350,04	33,25	7.281,75	5.068,29
Produto 15	270	42,38	11.443,48	30,57	8.253,90	3.189,58
Produto 16	300	21,46	6.437,81	40,69	12.207,00	- 5.769,19
Produto 17	91	19,15	1.742,83	17,08	1.554,28	188,55
Produto 18	17	71,14	1.209,43	25,65	436,05	773,38
Produto 19	34	387,54	13.176,25	384,99	13.089,66	86,59
Produto 20	144	290,06	41.768,62	298,52	42.986,88	- 1.218,26
Produto 21	1212	68,50	83.018,06	40,11	48.613,32	34.404,74
Produto 22	378	106,71	40.334,96	104,46	39.485,88	849,08
Produto 23	498	292,07	145.449,86	228,71	113.897,58	31.552,28
Produto 24	1937	21,14	40.941,40	13,23	25.626,51	15.314,89
Produto 25	113	420,45	47.511,32	304,76	34.437,88	13.073,44
Margem de Contribuição Total Modificada Mês de Março						24.970,99

Fonte: Dados da pesquisa

Houve maximização da margem de contribuição total em 74% em relação ao realizado no mês de março. A ferramenta foi utilizada também, para analisar o resultado do mês de abril que se encontrava conforme demonstrado na Tabela 11.

Tabela 11: Margem de Contribuição mês de Abril de 2018

Produto	Quantidade	Custo Unitário	Faturamento	Custo Médio	Custo variável	Margem de Contribuição
Produto 3	100	343,83	34.383,16	198,39	19.838,59	14.544,58
Produto 4	7093	24,85	176.285,88	40,02	283.861,86	-107.575,98
Produto 5	400	64,03	25.613,28	51,46	20.582,00	5.031,28
Produto 6	135	98,52	13.300,60	46,54	6.282,90	7.017,70
Produto 7	119	423,15	50.355,10	259,29	30.854,92	19.500,18
Produto 8	124	47,38	5.874,62	43,69	5.417,56	457,06
Produto 9	16	12,66	202,61	18,01	288,16	-85,55
Produto 10	334	103,73	34.644,76	92,13	30.770,38	3.874,38
Produto 12	24828	14,83	368.311,74	14,21	352.914,41	15.397,34
Produto 15	116	44,50	5.162,14	30,44	3.531,04	1.631,10
Produto 16	500	22,37	11.185,20	44,41	22.205,00	-11.019,80
Produto 17	60	20,39	1.223,44	17,27	1.036,03	187,41
Produto 19	10	403,84	4.038,35	399,88	3.998,75	39,60
Produto 20	104	304,61	31.679,81	344,90	35.869,54	- 4.189,73
Produto 21	985	70,72	69.662,41	40,76	40.151,90	29.510,51
Produto 23	445	306,61	136.441,11	232,34	103.390,76	33.050,35
Produto 24	2277	22,19	50.534,28	13,32	30.324,61	20.209,68
Produto 26	5	197,19	985,93	105,24	526,22	459,71
Produto 27	51	116,52	5.942,44	94,97	4.843,22	1.099,23
Produto 28	697	120,25	83.815,12	93,73	65.332,82	18.482,30
Produto 29	5353	77,10	412.738,38	80,63	431.634,90	-18.896,52
Produto 30	230	162,81	37.445,78	118,95	27.357,89	10.087,90
Produto 31	2925	101,11	295.738,34	107,15	313.419,07	-17.680,73
Produto 32	200	149,11	29.821,05	122,62	24.523,94	5.297,11
Produto 33	16	19,48	311,72	24,19	387,11	-75,39
Margem de Contribuição Total Mês de Abril						26.353,71

Fonte: Dados da pesquisa

Da mesma forma, que no mês de março, os resultados são apresentados conforme a produção e faturamento correspondentes. As mesmas restrições foram utilizadas para o período de abril, obtendo-se os resultados que constam na Tabela 12.

Tabela 12: Margem de Contribuição mês de abril de 2018 - Modificado

Produto	Quantidade	Custo Unitário	Faturamento	Custo Médio	Custo variável	Margem de Contribuição
Produto 3	100	343,83	34.383,16	198,39	19.838,59	14.544,58
Produto 4	7093	24,85	176.285,88	40,02	283.861,86	- 107.575,98
Produto 5	400	64,03	25.613,28	51,46	20.582,00	5.031,28
Produto 6	135	98,52	13.300,60	46,54	6.282,90	7.017,70
Produto 7	120	423,15	50.778,25	259,29	31.114,20	19.664,05
Produto 8	300	47,38	14.212,80	43,69	13.107,00	1.105,80
Produto 9	16	12,66	202,61	18,01	288,16	- 85,55
Produto 10	454	103,73	47.091,97	92,13	41.825,60	5.266,37
Produto 12	24828	14,83	368.311,74	14,21	352.914,41	15.397,34
Produto 15	160	44,50	7.120,20	30,44	4.870,40	2.249,80
Produto 16	500	22,37	11.185,20	44,41	22.205,00	- 11.019,80
Produto 17	100	20,39	2.039,07	17,27	1.726,72	312,35
Produto 19	20	403,84	8.076,70	399,88	7.997,50	79,20
Produto 20	104	304,61	31.679,81	344,90	35.869,54	- 4.189,73
Produto 21	985	70,72	69.662,41	40,76	40.151,90	29.510,51
Produto 23	445	306,61	136.441,11	232,34	103.390,76	33.050,35
Produto 24	3192	22,19	70.841,21	13,32	42.510,39	28.330,82
Produto 26	15	197,19	2.957,78	105,24	1.578,66	1.379,12
Produto 27	51	116,52	5.942,44	94,97	4.843,22	1.099,23
Produto 28	697	120,25	83.815,12	93,73	65.332,82	18.482,30
Produto 29	5353	77,10	412.738,38	80,63	431.634,90	- 18.896,52
Produto 30	250	162,81	40.701,94	118,95	29.736,83	10.965,10
Produto 31	2925	101,11	295.738,34	107,15	313.419,07	- 17.680,73
Produto 32	200	149,11	29.821,05	122,62	24.523,94	5.297,11
Produto 33	16	19,48	311,72	24,19	387,11	- 75,39
Margem de Contribuição Total Modificada Mês de Abril						39.259,31

Fonte: Dados da pesquisa

No mês de abril a partir das alterações propostas foi possível maximizar o resultado em 49%, aumentando a margem de contribuição do total no resultado da empresa.

Assim como os estudos e a aplicabilidade da TOC nas empresas analisadas por Fernandes *et al.*(2009), Lacerda e Corcini Neto(2009) e Luchese *et al.*(2016) possibilitaram melhoria de processo, sequenciamento de produção e consequentemente melhora no resultado global, foi possível perceber que a TOC também trouxe resultados positivos quando aplicado nesta empresa do ramo eletrônico.

A ferramenta *Microsoft Office Excel Solver*® se mostrou eficiente ao realizar a alteração das variáveis, embora tenha sido encontrada uma limitação da ferramenta, sendo necessário utilizar apenas duzentas células com valores variáveis.

Os estudos analisados não citaram nenhuma ferramenta computacional utilizada nos estudos, apenas conceitos atribuídos a teoria das restrições. Para cada tipo de restrição existe uma ferramenta que melhor se adequa à sua mitigação. Os estudos precedentes apresentaram a Árvore de Realidade Atual, o método Tambor-Pulmão-Corda e até mesmo auxílio de consultoria externa para resolver suas restrições, este estudo trouxe o *Microsoft Office Excel Solver*®, como ferramenta computacional para resolver a restrição de sequenciamento de produção encontrado na empresa.

Após a realização deste estudo, verificou-se que a utilização da programação linear tem potencial de maximização da margem de contribuição total da empresa. Desta forma, na última reunião realizada foram apresentados os resultados deste trabalho ao responsável do departamento de produção e o responsável do departamento de engenharia.

Após apresentados os resultados, o responsável de produção que também é o responsável pelo planejamento de produção informou que o estudo se mostrou válido e que o potencial demonstrado vem de encontro com os objetivos de otimizar os processos de planejamento de produção. Os dois responsáveis concordaram que a limitação da ferramenta *Microsoft Office Excel Solver*® impossibilita a utilização na programação diária de produção, visto que há múltiplas opções de montagem e um grande número de produtos e a limitação de 200 variáveis não contemplaria todas as opções necessárias para o correto sequenciamento de produção.

Para atender a necessidade da empresa sequenciando um grande número de produtos em diversas opções de montagem, optou-se por adquirir um software de sequenciamento de produção que possa ser otimizado às suas necessidades. No entanto, analisando as restrições do sistema produtivo, evidenciou-se que um dos processos possui mais variáveis restritivas que as demais e que esta, impediria o sequenciamento automático no novo software. Tendo em vista que, este processo é relativo à apenas um cliente e pode ser sequenciado isoladamente dos demais, a solução apresentada neste trabalho por meio da ferramenta *Microsoft Office Excel Solver*® será implementada neste processo. Serão inseridos na ferramenta *Microsoft Office Excel Solver*® todos os dados de tempo de produção, demanda máxima e

mínima e as restrições referente à este processo. Os dados obtidos serão utilizados para realizar o plano de produção diário da empresa neste processo, buscando a maximização dos resultados da margem de contribuição total da empresa, otimizando seus recursos.

5 CONCLUSÃO

Nesta pesquisa buscou-se realizar um estudo de caso em uma indústria de componentes eletrônicos, avaliando os impactos da otimização do processo produtivo utilizando a programação linear no balanceamento de produção.

A empresa possui uma grande variedade de produtos que são fabricados diariamente. Há particularidades no seu processo e diferentes formas de montagem dos componentes eletrônicos, desta forma não é possível utilizar os resultados obtidos neste trabalho para tomada de decisão em outras empresas.

Os resultados obtidos evidenciaram que a aplicabilidade da TOC quando executada em conformidade com os processos, é de grande utilidade para tomada de decisão mesmo quando realizada em apenas parte do processo fabril e limitando a quantidade de produtos.

O estudo se mostrou positivo, pois maximizou o resultado da empresa, evidenciaram-se as restrições e foram propostas soluções para melhor utilização da capacidade fabril. Para este estudo de caso foi necessário adquirir um software customizado para a empresa, pois, o *Microsoft Office Excel Solver*® só disponibiliza suporte para até 200 variáveis. A solução deste estudo de caso será implementada em uma parte do processo da empresa onde o *software* customizado não compreenderá todas as restrições encontradas neste processo.

Ao utilizar-se da programação linear, através da ferramenta *Microsoft Office Excel Solver*®, levando em consideração as restrições do sistema, constatou-se que a empresa tem condições de maximizar sua margem de contribuição em uma média de 61,5%. Esse aumento é possível ajustando o *mix* de produção, sem alterar a capacidade de produção e os recursos já utilizados pela empresa.

A partir de uma coleta de dados bem estruturada, detalhada e confiável é possível utilizar os conceitos da teoria das restrições, permitindo maior controle do processo e mais informações para tomada de decisão da empresa.

É evidente que nem todos os processos, neste ou em outros ramos de negócios, será possível aplicar a utilização da ferramenta *Microsoft Office Excel Solver*® ou da TOC em sua totalidade conforme foi demonstrado neste trabalho, visto que, devem ser analisadas as variáveis de cada processo antes de executar a

ferramenta e analisado o tipo de restrição para encontrar a melhor ferramenta a ser utilizada.

Sugere-se para estudos futuros, além da aplicação da teoria das restrições em processos industriais, organizados ou não por processos, a realização de análises utilizando ferramentas computacionais de programação linear em processos com restrições, a fim de evidenciar sua eficácia e comprovar a aplicação dos princípios da teoria das restrições em um ambiente real, e verificar se da mesma forma que neste estudo de caso, os resultados obtidos são benéficos à empresa.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas S.a., 2008. 176 p.

GOLDRATT, Eliyahu M. e COX, Jeff. **A Meta**. 4. ed. São Paulo: IMAN, 1990

GONÇALVES, José Ernesto Lima. OS IMPACTOS DAS NOVAS TECNOLOGIAS NAS EMPRESAS PRESTADORAS DE SERVIÇOS. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 1, n. 34, p.63-81, 1994. Bimestral. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rae/v34n1/a08v34n1>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

GUERREIRO, Reinaldo. **Os princípios da teoria das restrições sob a ótica da mensuração econômica**. 1996. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-92511996000100003&script=sci_arttext&tlng=pt>. Acesso em: 20 mar. 2018.

LACERDA, Daniel Pacheco; CORCINI NETO, Secundino Luis Henrique. **Uma Abordagem Para Posicionamento E Dimensionamento De Estoques De Couros Aftermarket Na Cadeia De Suprimentos**. Rev. Adm. UFSM, Santa Maria, v. 2, n. 3, p.448-462, set. 2009.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa Operacional: na tomada de decisões**. 5. ed. Rio de Janeiro: Gen, 2016. 183 p.

LÓPEZ, Rodrigo Javier Sólla; GRASEL, Dirceu. **Implantação Da Teoria Das Restrições (Toc) Através Da Árvore De Realidade Atual (Ara): Estudo De Caso Em Uma Unidade Fabril Da Indústria Metalúrgica**. Revista de Estudos Sociais, Cuiabá, v. 18, n. 37, p.71-95, jan. 2016.

LUCHESE, Juliane *et al.* **Implantação Da Lógica Tambor-Pulmão-Corda Em Uma Empresa Da Indústria Moveleira**. Holos, [s.l.], v. 8, p.262-276, 13 jan. 2016. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2015.3181>.

MARTINS, Eliseu. **Contabilidade de Custos**. 11. ed. São Paulo: Editora Atlas Ltda, 2018. 381 p.

MARTINS, Fábio Augusto. **O Processo De Raciocínio Da Teoria Das Restrições Na Indústria Moveleira De Pequeno Porte: Um Estudo De Caso**. 2002. 105 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação, Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MENEGHELLO, Geraldo Cesar; MARTINS, Danilo Sena. **Aps (Advanced Planning & Scheduling): A Utilização Do Sistema De Capacidade Finita Como Diferencial Competitivos**. Regrad: Revista Eletrônica de Graduação do UNIVEM, Marília- Sp, v. 8, n. 1, p.51-74, ago. 2015. Disponível em: <<http://revista.univem.edu.br/REGRAD/article/view/965/405>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

OLIVEIRA, Josmária Lima Ribeiro de *et al.* **Estimação de Custos de Importação da Jabil Circuit**. 2006. Disponível em: <http://sistema.semead.com.br/9semead/resultado_semead/trabalhosPDF/418.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2018

PEGORARO, Fabio. **Aplicação Dos Cinco Passos Da Melhoria Contínua Da Teoria Das Restrições (Toc): Um Estudo Em Uma Indústria De Cal**. Revista Cereus, [s.l.], v. 9, n. , p.80-97, 10 dez. 2017. Revista Cereus. <http://dx.doi.org/10.18605/2175-7275/cereus.v9nep80-97>.

PIRES, Velton Cardoso. **Utilização de Ferramentas Computacionais para a Resolução de Problemas de Programação Linear**. 2018. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Matemática, Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2018. Disponível em: <<http://www2.uesb.br/cursos/matematica/matematicavca/wp-content/uploads/Tcc-Velton.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2018.

POERSCH, Janaina Aline; GOULART, Peterson Ribeiro; CHAPOVAL NETO, Alexandre. **Análise De Processos Produtivos Com Vistas A Identificação De Melhorias: Estudo De Caso Em Indústria Moveleira Da Região Noroeste Do Estado Do Rio Grande Do Sul**. In: **Simpósio Gaúcho De Engenharia De Produção**, 1, 2016, São Leopoldo - Rs. **Artigo**. São Leopoldo - Rs: Sigepro, 2016. p. 1 - 22. Disponível em: <<https://even3storage.blob.core.windows.net/anais/31227.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2018.

SAUERESSIG, Gislaine Gabriele *et al.* **Gerenciamento De Estoques De Matéria-Prima Com Curto Prazo De Obsolescência Baseado Na Teoria Das Restrições: Estudo De Caso**. Engevista, Niterói, v. 19, n. 1, p.19-36, jan. 2017. Mensal. Disponível em: <<http://www.uff.br/engevista/seer/index.php/engevista/article/view/794/392>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

SIEMENS. **Simatic It Preactor Advanced Planning And Scheduling Products**. 2018. Disponível em: <<http://www.preactor.com/Products.aspx>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. Florianópolis: Ufsc, 2005. 139 p. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0BxZAZ_GYy89pR0Y3a0hOY3VSaFJ1Rm5ZRDdwaFhsVFpoekN3/view>. Acesso em: 23 abr. 2018.

SIQUEIRA, João Paulo de Lara (2009). **Gestão de Produção e Operações**. Curitiba, Paraná, Brasil: IESDE Brasil S.A. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=ozaXrDI0FhYC&pg=PA60&dq=processo+produtivo+industrial&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwiNwl_0nr3bAhVExpAKHWa1BDAQ6AEIPTAE#v=onepage&q=processo%20produtivo%20industrial&f=false> Acesso em 05 de Jun de 2018.

SOARES, Ivana Helena de La-rocque *et al.* **A Teoria Das Restrições Em Um Processo De Fabricação Da Indústria Na Construção Civil: Um Estudo De Caso**. Rev. Adm. Ufsm, Santa Maria, v. 2, n. 3, p.463-478, set. 2009.

VOTTO, Rodrigo Goulart; FERNANDES, Flavio Cesar Faria. **Produção enxuta e teoria das restrições: proposta de um método para implantação conjunta na Indústria de Bens de Capital sob Encomenda**. Gestão & Produção, São Carlos, v. 21, n. 1, p.45-63, mar. 2014. Trimestral.