

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MARCOS ANDRÉ MOURA JORDÃO EMERENCIANO

**ESTUDO DO BALANCEAMENTO DE LINHA UTILIZANDO A TEORIA DAS
RESTRIÇÕES EM UMA INDÚSTRIA DO SETOR DE PLÁSTICO**

Caruaru

2017

MARCOS ANDRÉ MOURA JORDÃO EMERENCIANO

**ESTUDO DO BALANCEAMENTO DE LINHA UTILIZANDO A TEORIA DAS
RESTRICÇÕES EM UMA INDÚSTRIA DO SETOR DE PLÁSTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco em cumprimento ao requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção, sob orientação do Professor Dr. Rodrigo Sampaio Lopes.

Caruaru 2017

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Marcela Porfírio – CRB/4-1878

E53e Emerenciano, Marcos André Moura Jordão.
Estudo do balanceamento de linha utilizando a teoria das restrições em uma indústria do setor de plástico. / Marcos André Moura Jordão Emerenciano. – 2017.
69f. ; il. : 30 cm.

Orientador: Rodrigo Sampaio Lopes.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia de Produção, 2017.
Inclui Referências.

1. Administração da produção. 2. Restrições (Inteligência artificial). 3. Planejamento da produção. I. Lopes, Rodrigo Sampaio (Orientador). II. Título.

658.5 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2017-144)

MARCOS ANDRÉ MOURA JORDÃO EMERENCIANO

ESTUDO DO BALANCEAMENTO DE LINHA UTILIZANDO A TEORIA DAS
RESTRICÇÕES EM UMA INDÚSTRIA DO SETOR DE PLÁSTICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do Curso de Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste-CAA da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, em cumprimento as exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Gestão da Produção

A banca examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o candidato APROVADO com nota 9,5.

Caruaru, 6 de julho de 2017.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Rodrigo Sampaio Lopes:
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Prof. Dr. Lucimário Gois de Oliveira Silva:
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Dr. José Leão e Silva Filho:
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Dr. Lúcio Camara e Silva:
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina de TCC)

Dedico esta, bem como todas as minhas demais conquistas, aos meus amados pais, queridos e valiosos irmãos, familiares e a todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de mim, fazendo esta vida valer cada vez mais a pena.

Em especial, a minha amada Valéria Cruz, por ser quem é.

AGRADECIMENTOS

Meus primeiros agradecimentos irão ao grande Engenheiro Celeste, Deus, sendo o pioneiro a confiar e apostar seu filho a essa humanidade.

Posteriormente, presto meu humilde “muito obrigado” ao Jurista e ao Poeta, por terem sido meus avós e alicerce principal na minha formação.

A minha querida mãe, que por várias vezes abdicou de seus caminhos para seguir de mãos dadas a mim, nos meus.

Ao meu pai, referência de índole e dignidade, que a cada passo meu se fez de escudo e espada contra os percalços da vida.

A minha família, em destaque meu filho-irmão, André Ricardo, por me tirar sempre um sorriso e mostrar o quanto é fantástica a vida.

A notável baiana, que me faz feliz e alimenta minha vida de ternura e perseverança.

Ao Professor Dr. Rodrigo Sampaio Lopes, pelo comprometimento e dedicação para comigo.

Em destaque, aos irmãos de luz que me guiam.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”.

(Charles Chaplin).

RESUMO

Na busca incansável por melhorias e técnicas de otimização do processo que promovam o ganho em competitividade, empresas esbarram em operações desbalanceadas e com altos índices de desperdício. Posto isto, este trabalho tem por objetivo implementar um modelo de gerenciamento, nomeado como Teoria das Restrições. Os cinco passos que governam o modelo da TOC, promovem um algoritmo contínuo de melhoria, onde a cada iteração os setores que restringem os sistemas são explorados. Com metodologia aplicada e quantitativa, modelos heurísticos e de programação matemática foram utilizados, tendo o intuito de otimizar o processo em busca de um ótimo global. A partir da aplicação da TOC em uma indústria de plásticos reciclados, entre 2016 e 2017, houve um aumento de 32,30% sobre a capacidade realizada da empresa, bem como a redução dos *Lead times*, e por consequência direta um maior faturamento.

Palavras-chave: Teoria das Restrições. TOC. Otimização. Melhoria Contínua. Gargalo. Filosofias Gerencias.

ABSTRACT

In the untiring search for improvements and techniques of process optimization that promote the gain in competitiveness, companies stumble in unbalanced operations and with high rates of waste. Therefore, this work aims to implement a management model, named as Theory of Constraints. The five steps that govern the TOC model, promote a continuous improvement algorithm, where each iteration the sectors that restrict the systems are explored. With applied and quantitative methodology, heuristic and mathematical programming models were used, aiming to optimize the process in search of a global optimum. From the application of TOC in a recycled plastics industry, between 2016 and 2017, there was a 32.30% increase on the company's capacity, as well as the reduction of lead times, and consequently a higher turnover.

Keywords: Theory of Restrictions. TOC. Optimization. Continuous Improvement. Neck. Philosophies Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pilares do STP	20
Figura 2 - Diagrama de Precedência.....	24
Figura 3 - Modelos de linha de produção	26
Figura 4 - Passos de implementação do TOC.....	29
Figura 5 - Modelo Tambor-Pulão-Corda.....	30
Figura 6 - Fluxograma do desenvolvimento do estudo.....	34
Figura 7 - Fluxograma do processo.....	37
Figura 8 - Fluxograma da Linha de Produção	40
Figura 9 - Posicionamento do modelo TPC.....	47
Figura 10 - Diagrama de procedência	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características entre as abordagens de balanceamento pela capacidade e fluxo.....	28
Quadro 2 - Estimativa da produção semanal por setor	41
Quadro 3 - Cenário em 2016 (Capacidade Realizada x Previsão de Demanda)	42
Quadro 4 - Previsão de vendas para 2017	43
Quadro 5 - Disponibilidade do setor 1	48
Quadro 6 - Produtividade de cada equipamento	52
Quadro 7 - Demanda semanal dos 5 produtos.....	52
Quadro 8 - Capacidade de produção dos equipamentos	53
Quadro 9 - Resposta do modelo	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Capacidade diária efetiva por setor.....	41
Tabela 2 - Comparativo da capacidade efetiva após implementação da TOC.....	57
Tabela 3 - Classificação pelo método do peso da posição	62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3 JUSTIFICATIVA	17
4 REVISÃO DE LITERATURA	18
4.1 A respeito do <i>Lean Manufacturing</i>	18
4.1.1 <i>Introdução ao Modelo Toyota de Produção</i>	18
4.1.2 <i>A Eliminação dos 7 Desperdícios</i>	19
4.1.3 <i>Os Pilares do STP</i>	20
4.2 O Balanceamento de Linha	22
4.2.1 <i>Simple Assembly Line Balancing SALB</i>	23
4.2.2 <i>Método Heurístico de Helgelson e Birnie (1961)</i>	26
4.2.3 <i>Método Heurístico de Kilbridge e Webster (1961)</i>	26
4.2.4 <i>Balancear pelo fluxo versus balancear pela capacidade</i>	27
4.3 Teoria das Restrições -TOC (<i>Theory of Constraints</i>)	29
4.3.1 <i>Descrição da TOC</i>	29
4.3.2 <i>Passos para Implementação</i>	29
4.3.3 <i>Princípios da Otimização</i>	31
5 METODOLOGIA	33
5.1 Tipo de Pesquisa	33
5.2 Etapas da Pesquisa	33
5.3 Análise de dados	35
5.4 Aplicação da TOC	35
5.4.1 <i>Descrição da empresa</i>	35
5.4.2 <i>Descrição do processo</i>	36
5.4.3 <i>Valores atuais do processo</i>	39
5.5 Etapas de implementação da TOC	44
5.5.1 <i>Identificando as restrições (gargalos) do sistema</i>	44
5.5.2 <i>Decidir como explorar a restrição do sistema</i>	45

<i>5.5.2.1 Explorando a Restrição do Setor 1</i>	45
<i>5.5.2.2 Explorando a Restrição do Setor 5</i>	46
5.5.3 Subordinar os demais setores em relação as restrições	47
5.5.4 Implementar melhorias nas restrições	51
5.5.5 Retornando ao passo 1 do modelo TOC	55
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
6.1 Balanceamento de linha pelas heurísticas	60
6.2 Discussões Gerenciais	63
7 CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS	65
APÊNDICE A – MODELAGEM MATEMÁTICA	69

1 INTRODUÇÃO

Em tempos de forte concorrência as empresas buscam olhar para o próprio processo procurando respostas e melhorias que levem a redução dos custos além de ganhos em competitividade. Atrelado a isto, emerge o desejo dos clientes que adotam como critérios de seleção a variedade ofertada de produtos, a qualidade e os prazos de entrega. Gerir uma planta produtiva de forma eficiente requer, entre outros parâmetros, operações eficientes, com alta qualidade no processo e produto final.

Na busca por enfrentar este ambiente complexo e variável, as empresas precisam de novas ferramentas em seus negócios. A Teoria das Restrições (*Theory of Constraints*), é um modelo que oferece as empresas uma abordagem lógica e iterativa na busca por otimização do processo. Segundo Goldratt (1992) a TOC é uma filosofia de gerenciamento com o enfoque global das operações, auxiliando na identificação e solução dos problemas além de modificar a visão da organização como um todo.

Uma outra abordagem, porém, relacionada as variações de demanda, está o Sistema Toyota de Produção (STP). Para Corrêa et al (2012) o STP, ou Manufatura Enxuta, teve início na década de 1950, no Japão, mais especificamente na empresa *Toyota Motors Company*. Este modelo apresenta como principais objetivos a eliminação de desperdícios, por meio de técnicas tais quais produção em pequenos lotes, balanceamento de linha, redução de tempos entre trocas de pedido, eliminação de estoques, alto foco na qualidade, produção baseada pela demanda, dentre outras.

Dentre outras características, uma linha de produção consiste em um grupo de Postos de Trabalho com posição fixa, definido por uma cadeia onde o valor ao produto vai sendo agregado pelas atividades concluídas. Um cenário comum em empresas de pequeno e médio porte é uma distribuição desigual da carga de operações entre esses Postos de trabalho, ocasionando o desbalanceamento da linha. (MOREIRA,2001)

Severiano e Paiva (1996) ressaltam que uma linha de produção desbalanceada pode acarretar custos à empresa, incluindo os de perda de oportunidade, aqueles que dizem respeito ao não atendimento da demanda. Entre os outros custos, pode-se elencar ainda os envolvidos nos estoques de produtos acabados e semiacabados, até mesmo o não cumprimento de prazos perante os clientes.

Neste contexto, o objetivo deste estudo é criar um modelo de gestão das operações, no qual busque o balanceamento da linha e redução dos desperdícios. Aplicando a uma empresa de plástico no agreste pernambucano, considerando suas peculiaridades inerentes ao tipo de processo e setor da indústria, bem como suas restrições. Tendo como benefícios principais um modelo robusto de gerenciamento, o aumento da eficiência das operações, fluxo de atividades uniforme entre os postos de trabalho, desenvolvimento de indicadores de desempenho para controle e acompanhamento pós implementação.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar o Balanceamento da linha de produção em uma empresa de plástico, situada no agreste pernambucano.

2.2 Objetivos Específicos

Mensurar o tempo de ciclo das atividades;

Mapear o sistema de produção através de um fluxograma do processo;

Utilizar a Teoria das Restrições no suporte ao Balanceamento de Linha;

Realizar uma análise de sensibilidade sobre o processo;

Propor melhorias com base nos resultados.

3 JUSTIFICATIVA

Este estudo prova sua relevância por entender a necessidade de análise da linha de produção na empresa em questão, pois além de nunca ter sido feito um esforço para o Balanceamento da linha, não se conhece ao certo a eficiência do sistema. Nem tão pouco possíveis perdas e a ciência da existência ou não de ociosidade. Sendo esses fatores preponderantes na baixa produtividade do sistema produtivo.

Outro fator importante e que deve ser considerado são os benefícios do balanceamento de linha, promovendo o aumento da eficiência do processo. Somado a isto, este estudo justifica-se pela inclusão da teoria das restrições, na qual não se trata apenas de uma melhoria pontual no tempo, mas sim deixa um legado a empresa como um modelo de gestão que direciona o esforço para as operações restritivas.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 A respeito do *Lean Manufacturing*

Corrêia e Gianese (1993) afirmam que o tema Produção Lean ou Manufatura Enxuta, também conhecido como Sistema Toyota de Produção (STP), teve início na década de 1950, no Japão, mais especificamente na empresa Toyota. De acordo com Womack et al. (1992), Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, ambos ligados a *Toyota Motors Company*, objetivavam a eliminação de desperdícios, por meio de técnicas tais quais produção em pequenos lotes, redução de tempos entre trocas de pedido, eliminação de estoques, alto foco na qualidade, produção baseada pela demanda, dentre outras.

Coexistem várias definições para a Manufatura Enxuta (ME). Womack & Jones (1998), definem ME como uma nova forma de entrelaçar o desejo da empresa e de seus clientes, introduzindo a cadeia de fornecedores na programação das operações, além do desenvolvimento de produtos e gestão sob uma ótica enxuta. Esse processo baseia-se em uma filosofia de grandezas inversamente proporcionais, na qual é possível fazer cada vez mais com menos, no que se refere a equipamentos, esforço humano, tempo, entre outros (HINO, 2009).

4.1.1 *Introdução ao Modelo Toyota de Produção*

Womack, Jones e Ross (2004) afirmam que a motivação da família Toyoda em produzir automóveis foi proveniente da visita de Kiichiro Toyoda à fábrica Rouge da Ford. Após esse fato, os equipamentos e máquinas produzidos pela indústria têxtil pertencente à família deu lugar à indústria automobilística Toyota Motor Company, em 1937.

A evolução do sistema Toyota teve suas pretensões postergadas, pois em detrimento a guerra passou a produzir caminhões para as forças armadas. Ao término da guerra em 1945, a Toyota retomou seus planos e em 1950, após 13 anos, com a produção de 2685 automóveis, número irrisório frente aos 7000 produzidos pela Rouge em um único dia (OHNO, 1997).

Ohno (1997) reforça que o período pós-guerra marcou um novo começo para a Toyota. Objetivando alcançar os índices de desempenho da indústria norte-americana, já que a diferença entre a produtividade japonesa era de nove para um. Ohno e sua

equipe analisaram que tal discrepância não se referia ao nível de esforço físico dos trabalhadores, mas sim da consequência de grandes desperdícios que ocorriam na indústria japonesa, logo essa problemática estimulou todo o delineamento do modelo de produção Toyota.

4.1.2 A Eliminação dos 7 Desperdícios

Campos (1996), define desperdício como todo e qualquer recurso que se utiliza na execução de um produto além do estritamente necessário. É um dispêndio extra que acarreta no aumento dos custos normais do bem ou serviço sem trazer qualquer tipo de melhoria para o cliente, ou seja, sem agregar nenhum valor ao produto.

Do ponto de vista de Ghinato (1996), o desperdício são operações ou movimentos completamente desnecessários que geram custos e não agregam valor, portanto devem ser imediatamente eliminados, com objetivo da busca pela eficiência.

Shingo (1996) identificou e classificou essas perdas em sete tipos:

a) Perda por Transporte: A movimentação dos materiais é um custo que não agrega valor ao produto e passa a ser interpretado como uma perda, devendo ser reduzido ao mínimo possível até que seja eliminado, o que é conseguido com o aprimoramento do layout;

b) Perda por Estoque: É ocasionada pelos produtos acabados, ou produtos fabricados em excesso. A eliminação desta perda facilita a identificação de outras perdas não aparentes no sistema, devido à função de proteção do inventário;

c) Perda por Espera: é aquela perda gerada quando um lote está à espera da liberação de um recurso para ser processado, ou então, quando as peças já trabalhadas de um lote esperam pelo processamento das restantes para que possam avançar para a etapa seguinte;

d) Perda por Movimentação: causado pelos movimentos feitos pelos operários, e que não agregam valor. Estas perdas podem ser eliminadas através de melhorias baseadas no estudo de tempos e movimentos;

e) Perda por Retrabalho: é causado pela fabricação de produtos não conforme;

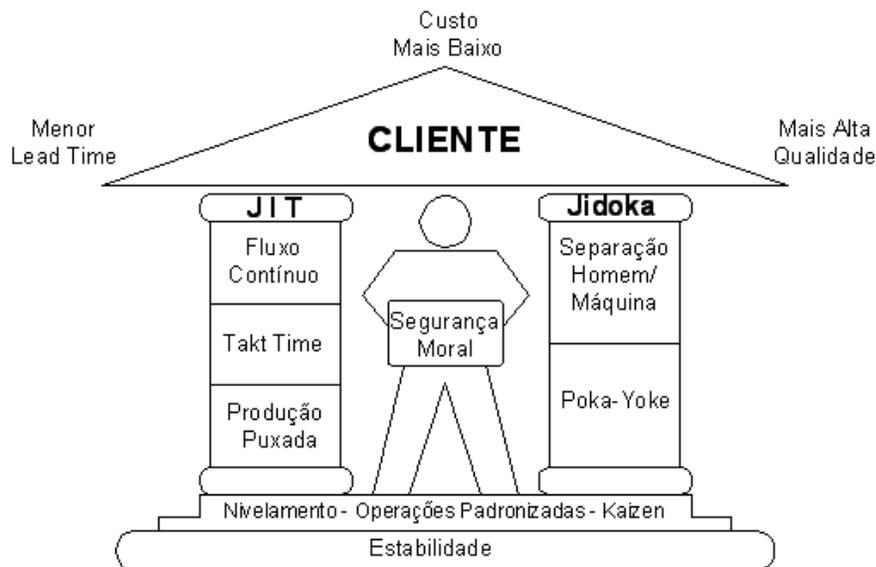
f) Perda por Processamento em si: Perdas ao longo do processo produtivo devido exclusivamente à baixa no desempenho dos equipamentos causada por quebras de máquinas;

g) Perda por Superprodução; de todas as sete perdas citadas por Ohno (1997), a perda por superprodução é considerada a mais perigosa, sendo que esconde os outros tipos de perdas, e é mais difícil de ser eliminada. A perda por superprodução por quantidade significa produzir além daquilo que é necessário. Já a perda por superprodução por antecipação é a perda decorrente da antecipação a demanda, fazendo com que as peças fiquem espalhadas pela fábrica aguardando à hora de serem processadas por etapas posteriores.

4.1.3 Os Pilares do STP

O modelo Toyota formou-se com alicerces sólidos na redução dos desperdícios, mas para atingir o nível de produtividade dos trabalhadores norte-americanos era necessário mais. Somado a isso, o mercado japonês e suas exigências por variedade forçavam as organizações a serem flexíveis e ágeis (WOMACK; JONES, 2004).

Figura 1 - Pilares do STP



Fonte: adaptado de WOMACK; JONES, 2004

Ohno (1997) afirma que a sustentação deste sistema está na busca contínua de reduzir a linha do tempo entre o pedido de um cliente até o ponto da entrega, conhecido como *lead time*, removendo quaisquer desperdícios que não agregam valor ao produto final.

O primeiro pilar, moldado pelos pretextos do Just In Time (JIT) compõe um sistema de produção diferente do sistema em lote utilizado pela maioria das indústrias. No JIT, cada processo produz somente o necessário para seu sucessor, disponibilizando no momento exato para garantir o fluxo contínuo da produção. Esse sistema inclui todos os fornecedores no fluxo de produção e elimina a necessidade de estoques (WOMACK et al. 1992).

Neste mesmo pilar, o modelo Toyota executa a conversão das linhas tradicionais de produção, onde os equipamentos e recursos estão agrupados por funções semelhantes denominado como layout funcional. Modificando para células de manufatura, na qual diversas tarefas são executadas no mesmo layout (OHNO, 1997).

Shingo (1999) complementa que essas conversões somada ao fluxo unitário de produção, ou seja, redução dos lotes de fabricação para a menor quantidade possível, tem por objetivo promover um fluxo contínuo no processo além de encurtar o lead time de produção. Visando a redução dos custos da superprodução, a mentalidade enxuta repassa o ritmo proposto pela demanda ao longo de sua cadeia de produtiva, integrando todo o processo desde o armazém de produtos acabados aos vínculos com os fornecedores.

O mesmo autor afirma que o takt-time é o tempo necessário para produzir um item baseado nos pedidos dos clientes, unindo o ritmo de produção ao ritmo de vendas. No STP o fluxo de informações é feito de maneira inversa ao da produção, garantindo assim que todos os itens produzidos foram decorrentes de uma solicitação do setor posterior a ele, nomeado como produção puxada pelo cliente.

No segundo pilar, governado pelo Jidoka, traduzido como “automação com um toque humano”, onde os equipamentos funcionam automaticamente, mas sendo paralisados imediatamente ao se detectar uma não conformidade, evitando assim o fluxo de peças defeituosas no sistema. Através disto, um operador pode ser o responsável por mais de uma máquina. O Jidoka faz com que a qualidade esteja embutida no processo

de fabricação, já que os próprios funcionários realizam o controle de qualidade (WOMACK et al., 1992).

Ainda sobre os aspectos da qualidade, os dispositivos Poka-Yokes garantem a não propagação de erros, pois são sistemas a prova de falhas que executam a atividade seguinte apenas quando os critérios de ajustes estão de acordo com as especificações. Isto é alcançado com a instalação de sensores, moldes, controladores lógicos programáveis e outros mecanismos, nos quais bloqueiam a ocorrência de erros na execução das operações (SHIGEO SHINGO, 1999).

Para Ohno (1997) esses são os pilares do STP, filosofia que apresenta como base o lema da melhoria contínua, produção nivelada com as reduções dos lotes e a padronização das tarefas, garantindo assim a qualidade em todo o processo, redução dos desperdícios e estabilidade em toda cadeia.

4.2 O Balanceamento de Linha

Para Tubino (2007) pode-se entender como Linha de Produção, uma forma de operação em série e contínua. Definida por um conjunto finito de tarefas especializadas e repetitivas, que podem ser executadas de forma automatizada ou semiautomatizada. Cada estágio deste conjunto apresenta um tempo de processamento e respectivas relações de precedência.

Na literatura o problema fundamental deste tipo de produção é conhecido pela sigla ALBP (*assembly line balancing problem*), pode-se interpretar como a dificuldade encontrada em atribuir as tarefas a seus postos de trabalho, de maneira que atendam às restrições e que busque alguma medida de eficiência. (FERNANDES E GODINHO 2010).

Para Fernandes e Morábito (1993), uma Linha de Produção balanceada é definida quando o tempo de ciclo, explicado como o tempo disponível em cada posto de trabalho para realização de operações pré-estabelecidas, for igual a todos os tempos que o produto gasta em cada uma das estações.

Já Rocha (2005), define uma linha de produção balanceada quando se encontra o melhor ajuste às necessidades e flutuações da demanda, buscando maximizar a utilização dos postos de trabalho.

Para Silva, Gusmão e Melo (2011) o primeiro estudo publicado que sugeriu a respeito de uma solução ao desbalanceamento foi o de Helgeson et al. (1954), porém coube a Salveson em (1955) o pioneirismo na solução por um método matemático, baseado em programação linear. Nomeado como SALB (*Simple Assembly Line Balancing*), utiliza de uma simplificação em relação a realidade para alcançar a otimização dos postos de trabalho. A partir daí o tema Balanceamento de Linha vem recebendo enfoque maior da comunidade científica. (EREL; SARIN, 1998).

Outro modelo que envolve problemas mais complexos, incorporando aspectos práticos com maiores relevâncias, como estações de trabalho em paralelo ou arranjo em U, podem ser classificados como GALB (*General Assembly Line Balancing*), traduzido como problemas de balanceamento de linha gerais (BOYSEN et al., 2006).

4.2.1 Simple Assembly Line Balancing SALB

O SALB é caracterizado como um problema de otimização combinatória do tipo NP-hard, os quais exigem um grande esforço computacional na busca pelo valor ótimo. Por consequência, a utilização de modelos exatos para este tipo de problema é bastante pequena, logo o desenvolvimento e aplicação de métodos heurísticos se destacam na busca pelos resultados (FERNANDES E GODINHO 2010).

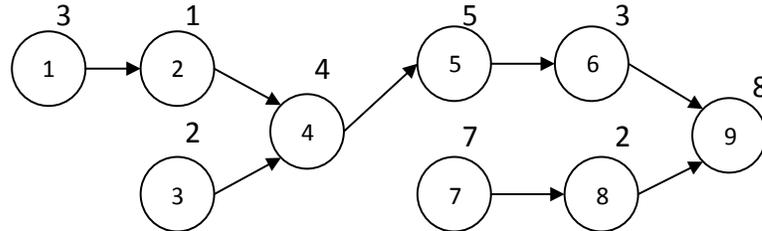
Para Boysen *et al.* (2008) alguns elementos compõem uma linha de montagem que apresenta m ($k=1, 2, \dots, m$) estações de trabalho, podendo o produto ser transportado por uma esteira de uma estação para outra ou simplesmente as tarefas são consecutivas e interligadas. A cada estação as tarefas são executadas de maneira repetitiva e padronizada em um determinado período de tempo, o tempo de ciclo (T_c), definido como o tempo disponível para a realização das operações pré-estabelecidas.

Durante o percorrer da linha de produção o valor é agregado ao produto final por meio de um conjunto de operações $V= \{1, 2, \dots, n\}$, nomeado de maneira simples como tarefas. Para se executar a tarefa j se faz necessário um tempo T_j , no qual é delimitado pela capacidade do equipamento ou habilidade do operador. O somatório dos tempos de execução de cada tarefa é definido como tempo total T_{total} (BOYSEN *et al.* 2008).

Outra característica intrínseca dos modelos produtivos em linha são as relações de precedência, em consequência do tipo de operação bem como a tecnologia aplicada

na fabricação do produto final, se faz necessário uma relação de tarefas/equipamentos em que o produto passe para atingir seu último grau na escala de valor. A maneira usual para apresentação é o diagrama de precedência exemplificado na Figura 2.

Figura 2 - Diagrama de Precedência



Fonte: PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2013

A problemática objetiva solucionar a designação das tarefas (j) entre os (m) postos de trabalho preservando as restrições de precedência em que o tempo total (T_{total}) não ultrapasse o tempo de ciclo (T_c) para cada posto de trabalho (k). Uma notação adotada por Boysen *et al.* (2008) é S_k para definir o conjunto das tarefas pertencentes ao mesmo posto k , resultando em um outro indicador de tempo, com o acumulado dos tempos de processamento das tarefas. Obtido por meio do somatório:

$$T(S_k) = \sum_{j \in S_k} T_j$$

Ritzman e Krajewski (2004) afirmam que dentre os demais indicadores, destacam-se o índice de eficiência e o de ociosidade, o primeiro é dado pelo quociente entre o tempo total e o produto resultante da quantidade de posto de trabalho e o tempo de ciclo. O último sendo definido matematicamente pela subtração do tempo de ciclo pelo acumulado dos tempos de processamento.

$$E = \frac{T_{total}}{m \cdot T_c}$$

$$O = T_c - T(S_k)$$

Segundo Scholl (1999) o SALB apresenta quatro versões que são relacionadas ao objetivo considerado:

i. SALBP-E: maximizar a eficiência E , quando tanto m , quanto T_c podem ser alterados;

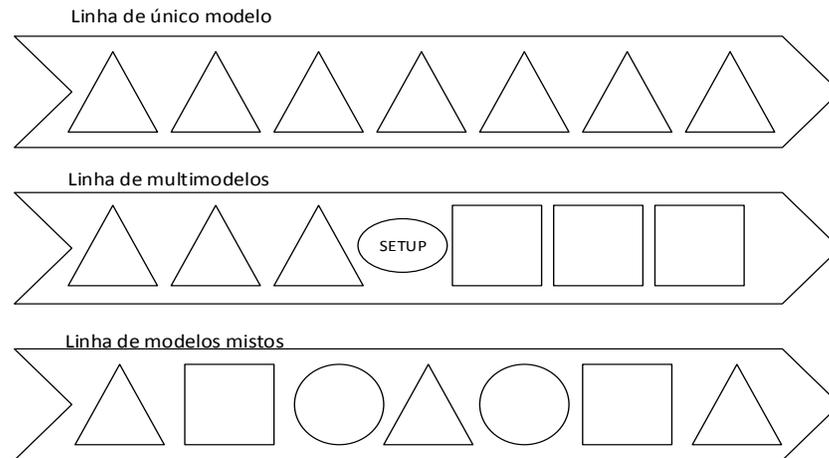
- ii. SALBP-1: minimizar a quantidade m de postos de trabalho, dado o tempo de ciclo T_c ;
- iii. SALBP-2: minimizar o tempo de ciclo T_c , dada a quantidade m de postos de trabalho;
- iv. SALBP-F: busca uma solução viável, dados m e T_c .

Autores como Becker e Scholl (2006); Boysen *et al.* (2007); Scholl (1999) e outros afirmam que a implementação do SALB deve atender o conjunto de restrições, demonstradas como hipóteses por Fernandes e Godinho (2010):

- Todos os parâmetros de entrada são conhecidos;
- Uma tarefa não pode ser dividida entre duas ou mais estações;
- A alocação de tarefas às estações deve respeitar as restrições tecnológicas de precedência;
- Todas as tarefas devem ser alocadas e conseqüentemente processadas;
- As estações possuem capacidade tecnológica para processar qualquer tarefa.
- O tempo de processamento de qualquer tarefa é independente de qual estação executará a mesma;
- A linha é considerada serial e não existem tarefas em paralelo;
- A linha montará apenas um único modelo de produto;
- Os objetivos devem seguir um dos quatro modelos de otimização (SALBP-E, SALBP-1, SALBP-2 ou SALBP-F).

Na busca por alcançar a complexidade dos modelos atuais de produção, algumas hipóteses podem ser relaxadas, em casos de linhas que produzem diferentes modelos de produtos, por exemplo (BOYSEN *et al.*, 2006).

Figura 3 - Modelos de linha de produção



Fonte: Adaptado de Beker e Scholl (2004)

4.2.2 Método Heurístico de Helgelson e Birnie (1961)

Para Moreira (2001) este modelo heurístico criado em 1961 por Helgelson e Birnie é interpretado como “técnica do peso da posição”, baseado em ponderar cada tarefa pelo seu tempo de execução adicionado dos tempos de execução das demais tarefas subsequentes. O método tem como objetivo a minimização dos números de postos de trabalho, obtido através do quociente entre o conteúdo de trabalho, somatório de todos os tempos de execução das tarefas, e o tempo de ciclo.

4.2.3 Método Heurístico de Kilbridge e Webster (1961)

Fernandes e Godinho (2010) afirmam que este modelo é semelhante ao proposto por Helgelson e Birnie, perseguindo o mesmo objetivo de minimização do número de estações de trabalho. O método consiste em alocar as tarefas na ordem crescente através do número de predecessores, ou seja, é computado a cada tarefa o número total de tarefas precedentes. Nos casos de empate o autor indica que deve ser alocada a tarefa com maior duração.

4.2.4 Balancear pelo fluxo versus balancear pela capacidade

Dentre as diversas metodologias e aplicações voltadas a melhoria do desempenho da manufatura, uma pratica bastante comum entre os engenheiros e gestores é o balanceamento de linha, uma fração destes utilizam o modelo de balanceamento pela capacidade enquanto outros defendem o balanceamento pelo fluxo produtivo. (Pacheco et al. 2014).

Segundo Pacheco et al. (2014) a origem do método de balanceamento pela capacidade foi em meados do século XX vinculada ao modelo de produção em massa. Neste método busca-se que o volume processado em cada setor seja o máximo permitido pela capacidade instalada, com isto, os custos unitários são reduzidos e os indicadores de eficiência são elevados.

O mesmo autor sobrepõe ainda que no modelo de produção em massa, este tipo de balanceamento é exequível, porem no contexto atual tanto a demanda quanto os processos tendem a maior flexibilidade, impulsionados pela diferenciação entre nichos de mercados em busca por vantagens competitivas.

Goldratt (2009) afirma que uma grande parte do todo das organizações não disfruta de estabilidade. Nesta lógica, três pressupostos são elencados pelo autor como direcionadores da estabilidade do sistema:

1. Estabilidade do ambiente, em que não existem alterações constantes nos processos e produtos;
2. Demanda uniforme, provocando equilíbrio nas necessidades mensais de produção;
3. Atividades bem alocadas e distribuídas entre os recursos operacionais.

Goldratt (2009) salienta ainda que devido a essas necessidades impostas pelo mercado e concorrência, somadas as intervenções incrementais de capacidades, como por exemplo aquisição de novas tecnologias em maquinários, tendem fazer com que o sistema seja instável. Esta variabilidade do processo e/ou demanda provoca longos *lead times*, tendo como consequência direta a não efetivação de vendas, já que os produtos podem não chegar rapidamente ao cliente.

Na busca por um melhor gerenciamento desta instabilidade dos sistemas produtivos, o modelo de balanceamento pelo fluxo permite a equalização da linha através das operações restritivas, ou seja, o fluxo produtivo é dimensionado pelo gargalo do sistema, no qual o modelo de gestão TOC (*Theory of Constraints*), podendo ser traduzido como Teoria das Restrições, coordena um algoritmo de sequenciamento que aprimora o desempenho global da organização através da melhoria nas restrições (Pacheco et al. 2014).

Quadro 1 - Características entre as abordagens de balanceamento pela capacidade e fluxo

Balanceamento pela Capacidade	Balanceamento pelo Fluxo
Busca a máxima utilização dos recursos	Diferencia entre a utilização e ativação dos recursos nos quais não são gargalos
Maximiza a eficiência do ótimo local	Busca maximizar os recursos restritivos, objetivando um melhor desempenho global
Utiliza os estoques intermediários para suprir toda a linha	Controla a capacidade em excesso nos recursos que não são gargalos
Tem atenção voltada nos recursos que não estão em suas capacidades máximas	O esforço é focado nos recursos que restringem a operação
Enfoque na redução dos custos unitários	Foca nos ganhos do sistema, em uma maior produtividade e eficácia
A carga de trabalho é alocada de acordo com a capacidade	A carga de trabalho é alocada nos demais recursos subordinados aos recursos com restrição

Fonte: Adaptado de Pacheco et al. (2014)

Para Pacheco et al. (2014) a melhor opção em estratégia de balanceamento irá depender da variabilidade do sistema, quando o processo apresenta instabilidade o

modelo indicado será o balanceamento pelo fluxo, já nos sistemas estáveis o balanceamento pela capacidade se torna mais eficiente.

4.3 Teoria das Restrições -TOC (*Theory of Constraints*)

4.3.1 Descrição da TOC

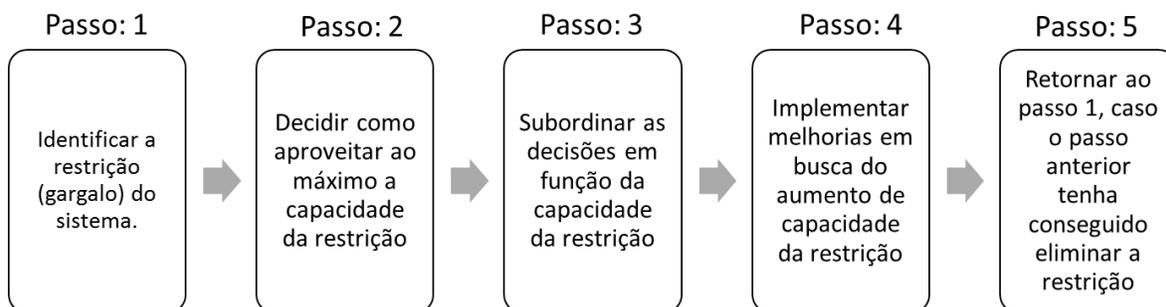
Segundo Cogan (2007), em meados dos anos 70 o físico israelense Eliyahu Goldratt, a pedido de um amigo, desenvolveu um modelo matemático que visava um sistema de planejamento para uma fábrica de gaiolas. Este modelo culminou no desenvolvimento do software *Optimized Production Technology* (OPT) com foco na programação da produção.

Para Fernandes e Godinho (2010), na década de 80 o físico refina seus conceitos e anuncia a ideia que atualmente é difundida como Teoria das Restrições TOC (*Theory of Constraints*). O conceito base da TOC é obter lucro através do levantamento e exploração das restrições. Esse objetivo de lucro é alcançado pela implementação de princípios relacionados ao PCP (Planejamento e Controle da Produção).

4.3.2 Passos para Implementação

A implementação do conceito TOC é baseada na melhoria de performance dos setores gargalos dentro da organização, já que eles ditam o ritmo da produção e, segundo o conceito, qualquer investimento em setores que não são restrições será tomado como prejuízo. Quelhas e Barcaui (2005) afirmam que o algoritmo resultante para maximizar a performance desta cadeia é dado em 5 passos:

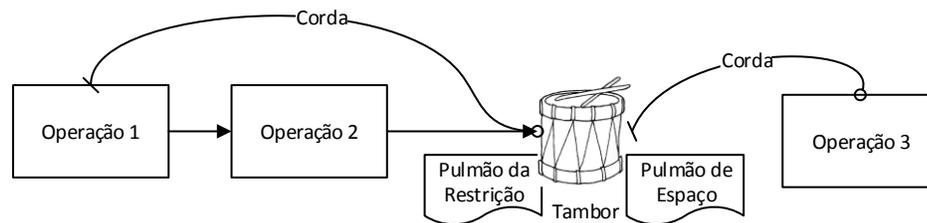
Figura 4 - Passos de implementação do TOC



Fonte: Adaptado de Quelhas e Barcaui (2005)

A fim de tornar possível a implantação dos “5 Passos do TOC”, a metodologia tambor – pulmão – corda (TPC) é incluída na Programação e Controle da Produção. O TPC permite equalizar a produção através do balanceamento produtivo e não da capacidade individual. O método é simples porem eficaz, o que torna bastante aplicável no contexto atual (COGAN, 2007).

Figura 5 - Modelo Tambor-Pulmão-Corda



Fonte: Adaptado de COGAN (2007)

Rezende et al. (2012) explica que o Tambor (*Drum*) é o setor que restringe a produção, sendo ele o responsável pelo ritmo do processo, logo se faz necessário uma programação detalhada que levante informações precisas desde quantidades máximas de processamento até os tempos de execução das tarefas. Para corrigir possíveis flutuações e se proteger de incertezas, uma proteção deve ser criada no sistema, permitindo a liberação dos itens antes de seu processamento na restrição.

Os mesmos autores ainda complementam que o Pulmão (*Buffer*), deve ser dimensionado através de um estudo de tempos e não de itens produzidos, tendo como função de suporte as restrições, garantindo seu funcionamento diante de paradas ou eventuais falhas do sistema.

Goldratt (1997) ainda explica que na TOC podem haver três tipos de pulmão:

- Pulmão da Restrição (Constraint Buffer) - objetiva proteger o Tambor com a liberação antecipada dos itens para a restrição.
- Pulmão do Carregamento (Shipping Buffer) - a restrição não é o único elemento com programas a serem observados. O carregamento dos produtos acabados também deve ser protegido com um pulmão, de modo a ser assegurada a confiabilidade dos prazos para os clientes.

- Pulmão da Montagem (Assembly Buffer) - quando os itens que foram processados pela restrição devem ser montados com itens que não passaram pela restrição, é necessário criar outra proteção. Neste caso, todas as partes que passaram pela restrição devem ser utilizadas para formar o produto acabado e desta forma, nenhum item "não-restrição" deve estar faltando.

A Corda (*Rope*), é responsável por manter o ritmo do setor Tambor, em outras palavras, é por meio da Corda que os demais recursos irão operar com a quantidade correta de insumos, evitando estoques intermediários e perdas dentro do sistema.

4.3.3 Princípios da Otimização

Goldratt (1977) afirma que a ênfase da Teorias das Restrições está em seguir nove princípios na programação da produção, onde a ideia central é que "a soma dos ótimos locais não garante um ótimo global".

1. Balancear o fluxo e não a capacidade O fluxo de produção da fábrica recai sobre o fluxo de materiais e não na capacidade instalada dos recursos.

2. O nível de utilização de um recurso não-gargalo não é determinado pelo seu próprio potencial, mas sim pela restrição do sistema.

3. A utilização e a ativação de um recurso não são sinônimas A utilização representa o uso do recurso não-gargalo de acordo com a capacidade do recurso gargalo, já a ativação, representa o uso do recurso não-gargalo em volume maior do que a capacidade do recurso gargalo, este não contribui com os objetivos da otimização que seria o balanceamento do fluxo.

4. Uma hora perdida no gargalo é uma hora perdida no sistema inteiro. Tendo em vista todo o sistema e restringido pelo gargalo, qualquer tempo perdido neste, diminui o volume final de produto nas operações não restritivas.

5. Uma hora economizada onde não é gargalo é apenas uma ilusão A economia de tempo em um recurso gargalo é um desperdício, pois qualquer esforço para tal economia não trará benefícios ao volume produzido do sistema.

6. Os gargalos governam todo o sistema, desde o volume produzido do produto acabo a aquisição de matéria prima

7. O lote de transferência não pode e muitas vezes não deve ser igual ao lote de processamento. O lote de transferência deve ser dimensionado pela capacidade do setor em que será executada a próxima atividade, além de retardar a operação futura podem congestionar o setor subsequente.

8. O lote de processo deve ser variável e não fixo, os lotes de processamento podem e devem variar de uma operação para outra, uma vez que as características das operações individuais podem conduzir a um cálculo de lote diferente, sendo assim prejudicada por uma definição de lote único.

9. A programação deve considerar simultaneamente todas as restrições.

A metodologia de gestão TOC é exequível em qualquer tipo de organização, não somente ligado a indústria, estudos na área de serviços também obtiveram bons resultados. Pinto et al (2004), Oliveira et al (2004) ambos aplicaram o modelo proposto por Goldratt no setor de serviços hospitalares. Por mais complexo que seja o processo produtivo, ele irá apresentar um número limitado de restrições, onde todas poderão ser protegidas por um pulmão de tempo, promovendo o fluxo na linha de produção e gerando lucros.

5 METODOLOGIA

5.1 Tipo de Pesquisa

A metodologia utilizada para a confecção deste Trabalho de Conclusão de Curso consiste em um Estudo de Caso, pois abrange estudos elaborados com a finalidade de resolver problemas identificados no âmbito da sociedade (GIL, 2010).

Quanto à abordagem, esta pesquisa é classificada como quantitativa, na busca por valores ótimos que garantem um melhor balanceamento de fluxo. Quanto aos objetivos classifica-se como pesquisa descritiva, tendo como objetivo estudar o estabelecimento de relações entre variáveis, descrevendo as características de determinado fenômeno (GIL, 2002).

Dentre os procedimentos metodológicos, neste estudo destacam-se dois:

a) Levantamento, segundo Gil (2002) caracteriza-se por interrogação direta de pessoas, a fim de solicitar informação a respeito do estudo envolvido.

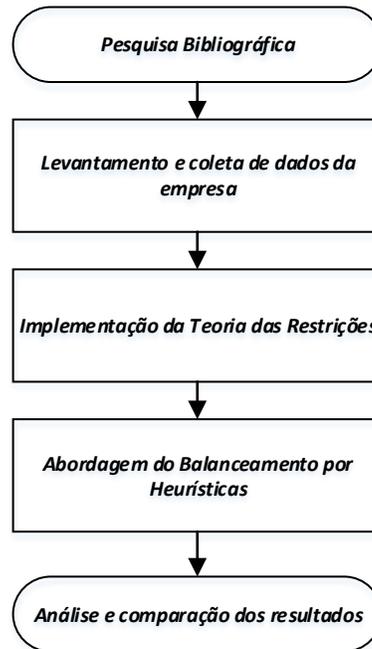
b) Pesquisa bibliográfica, é toda e qualquer consulta à registros disponíveis, sejam documentos impressos como livros, jornais ou artigos acadêmicos, bem como documentos imersos na rede de internet, mas que conduzam ao agregar científico (SEVERINO, 2007)

5.2 Etapas da Pesquisa

O estudo contemplou uma empresa do ramo de plástico reciclado, em destaque estão os cinco setores responsáveis pela produção das sacolas plásticas onde a problemática do balanceamento de linha foi delineada.

A Figura 6 ilustra os passos para o desenvolvimento deste estudo.

Figura 6 - Fluxograma do desenvolvimento do estudo



Fonte: Esta Pesquisa, 2017

A abordagem inicial para este estudo foi consolidada em uma pesquisa e levantamento sólidos de toda a literatura envolvida, posteriormente, houve a definição dos limites bibliográficos.

Por meio de observações *in loco* os dados a respeito da empresa, seu processo produtivo e dos aspectos numéricos foram coletados. Para este estudo foram aplicados os três tipos de coleta de dados propostos por Gil (2002), a primária, quando se faz entrevistas no meio de produção com funcionários ou responsáveis. Secundária, onde os dados são provenientes da análise de documentos, manuais do equipamento e outros, já a terciária consiste em coleta de dados pelo participante no processo de produção, no qual vivência o cotidiano da situação em estudo.

O estudo de caso seguiu a Teoria das Restrições-TOC, no qual o autor implementa os cinco passos propostos pelo modelo, conforme Figura 4. Em busca de outro modelo para futuras comparações, o balanceamento de linha segundo a Heurística de Helgelson & Birnie foi implementado paralelamente.

A última etapa deste estudo foi construída nos alicerces da comparabilidade numérica, analisando resultados das operações antes e depois da implementação dos modelos propostos, fundamentando e comprovando a eficácia do estudo.

5.3 Análise de dados

Durante o desenvolvimento deste estudo os dados foram organizados e tratados através das ferramentas computacionais Microsoft Excel[®] 2016, Arena[®] versão estudante, já para a obtenção da solução do modelo em programação linear o Cplex[®] da IBM, versão estudante foi utilizado.

5.4 Aplicação da TOC

5.4.1 Descrição da empresa

A organização em estudo atua no setor de plásticos reciclados com a produção de sacolas e filmes flexíveis, localizada na cidade de Gravatá, pertencente ao estado de Pernambuco. Esta empresa de origem familiar foi fundada na década de noventa pelo patriarca da família, hoje possui aproximadamente 60 funcionários distribuídos numa planta produtiva de 2.000 m² que fabricam em média 92 toneladas mensais.

Seu modelo de produção é baseado em estoque, sendo definido como sistema do tipo empurrado, contando com um departamento comercial atuante e experiente. Dentre a variedade de produtos, os que apresentam preferência no mercado são as sacolas plásticas recicladas, cerca de 87% da contribuição do faturamento mensal da empresa, o complementar é proveniente dos sacos de maiores dimensões, como por exemplo sacos para lixeiras.

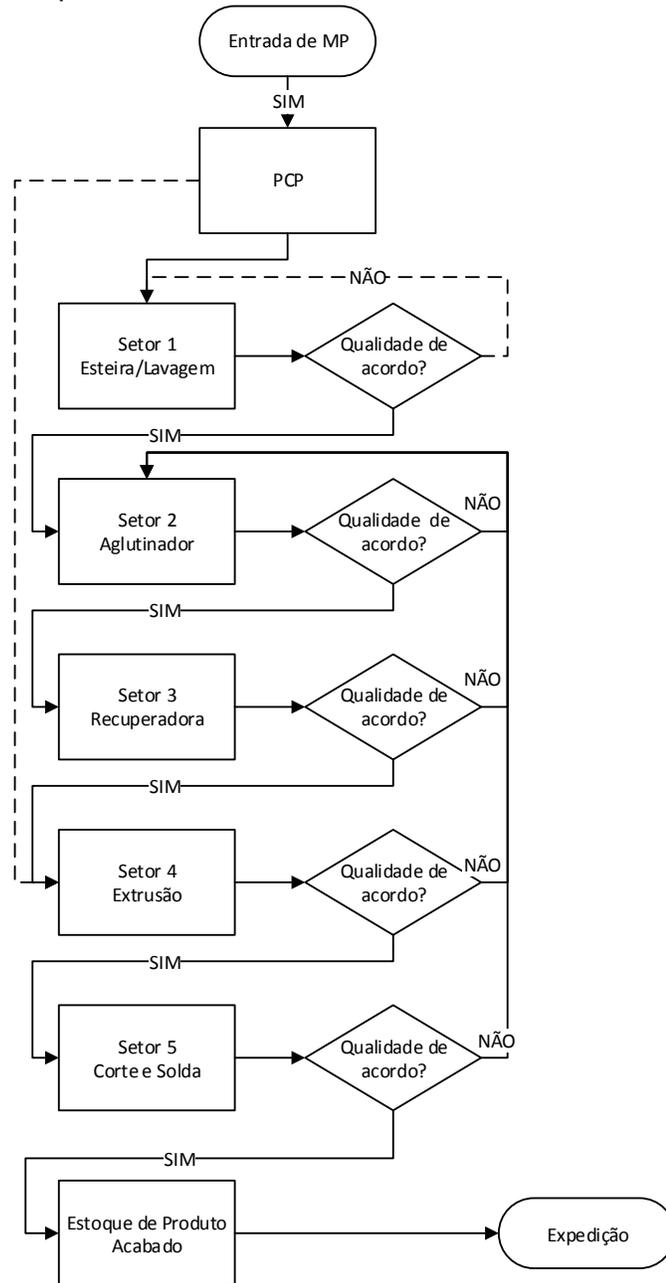
Até pouco tempo atrás, a empresa detinha um maior quadro de funcionários, operava com três turnos de 8 horas diárias, além de um maior número de equipamentos que fornecia uma produção média mensal de 140 toneladas. Este cenário se modificou durante o biênio 2015 e 2016, a forte crise financeira que se instalou no país conduziu os diretores a repensarem todo o processo produtivo. Em busca de redução de custos e maximização da eficiência houve uma remodelagem da linha, incluindo automação de alguns setores e aquisição de equipamentos mais eficientes.

Desta remodelagem emergiu a problemática em estudo, pois as modificações influenciaram de maneira direta no equilíbrio da linha, fazendo com que setores ficassem com grandes estoques nas atividades predecessoras e em outros casos subdimensionados.

5.4.2 Descrição do processo

No cenário atual, o processo produtivo da indústria em estudo pode ser exemplificado conforme o fluxograma disposto na figura 7.

Figura 7 - Fluxograma do processo



Fonte: Esta Pesquisa, 2017

Através de uma abordagem geral pode-se perceber que o modelo produtivo se enquadra como Produção em Linha, onde a cada operação existe um nó de decisão sobre os aspectos da qualidade (conformidade com a especificação) e o retrabalho é feito nos setores que precedem cada operação.

Detalhando o início do processo, tem-se que a matéria prima é recebida dada uma programação mensal de compras baseada em uma necessidade imposta pela previsão vendas. O Setor 0, ou Planejamento e Controle da Produção (PCP), se responsabiliza por enviar as ordens de produção bem como a programação semanal da produção diante de toda a linha.

Por se tratar de um produto reciclado, os fardos são compactados e frequentemente apresentam resíduos de outras características (como exemplo: PVC, PP, PET, papelão e outros) não condizentes ao tipo de processo. Para este tipo de operação a matéria prima adequada é o PEBD e PEAD, polietileno de baixa densidade e o polietileno de alta densidade respectivamente.

No Setor 1, as atividades são relacionadas ao processo de triagem do material, neste, a matéria prima chega em fardos de aproximadamente 250 Kg que percorrem uma esteira com 7 funcionários. Em seguida, uma outra esteira transportadora envia a MP para ser triturada, lavada e secada, sendo essas três últimas atividades executadas de maneira automatizadas.

Já para o Setor 2, tem como atividade principal aglutinar o produto provindo do Setor 1, para isto um equipamento monitorado por um CLP (controlador lógico programável) executa uma centrifugação em lotes de 73 Kg de produto, ao fim de cada ciclo uma porção de água a baixa temperatura é lançada ocasionando a formação de grãos.

O Setor 3, nomeado por Recuperadora, recebe como insumo o produto formado pelas atividades que o precedem. A operação consiste em transformar o insumo em um grão com dimensões uniformes e temperatura média entre 35°C à 45°C.

Seguindo o fluxo do processo para o Setor 4, detalha-se uma ligação com o PCP, nesta operação existe a problemática do *mix* ótimo de produto a ser alocado entre os 4 equipamentos extrusores, cada máquina possibilita o *output* de diferentes dimensões das bobinas plásticas, onde esta decisão está sujeita as restrições de capacidade em cada equipamento, bem como as previsões de vendas e os impactos dos possíveis *Setups*.

No Setor 5, é denominado de corte e solda devido a nomenclatura dos equipamentos empregados. As bobinas plásticas são designadas entre as 3 máquinas disponíveis, executando assim a atividade que mais agrega valor ao produto acabado,

onde cada equipamento é operado por um funcionário em que o mesmo se responsabiliza pela operação e embalagem do produto final.

Almejando a redução nos custos logísticos, se faz necessário um local para armazenagem dos produtos acabados, enquanto aguardam a formação do lote (deve ser entendido como espera para que todo o *mix* de produtos solicitado pelo cliente esteja disponível para entrega) para prosseguir ao setor de expedição.

Ainda sobre o processo, a análise da qualidade é executada primariamente pelo operador do equipamento de cada setor, qualquer não conformidade é reportada ao gerente de produção que registra e investiga as possíveis causas. Em destaque, os Setores 2, 3, 4 e 5 destinam os produtos defeituosos ao Setor 2, os quais são retrabalhados e inseridos novamente no fluxo das operações.

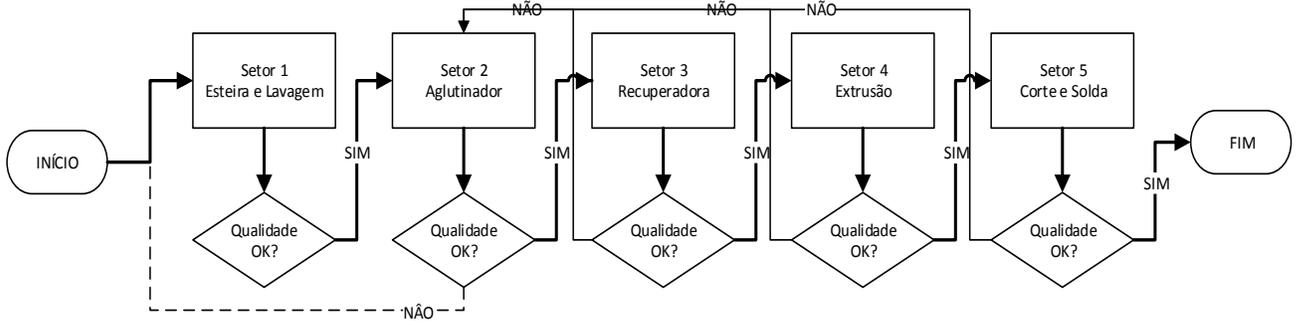
Por fim, as setas serrilhadas identificam a troca de informações ente setores, *feedback*, sendo a primeira representada pela definição do *mix* a ser produzido nas extrusoras vindas do PCP, a segunda seta representa o fluxo de informações que alimenta os aspectos de qualidade da MP processada no Setor 1.

5.4.3 Valores atuais do processo

Na atualidade, a empresa em estudo está em busca de uma reestruturação que a direcione para eficiência, um grande enfoque está na redução dos custos de produção, custos estes que envolve capital humano, tecnológico e energético. Sendo assim, a filosofia japonesa dos 7 tipos de desperdícios já é presente na cultura da organização, mas se faz necessário um complemento que busque um modelo de gestão preciso e eficaz.

A título de simplificação, um novo fluxograma é apresentado pela figura 8, incorporando apenas os setores envolvidos diretamente na linha de produção.

Figura 8 - Fluxograma da Linha de Produção

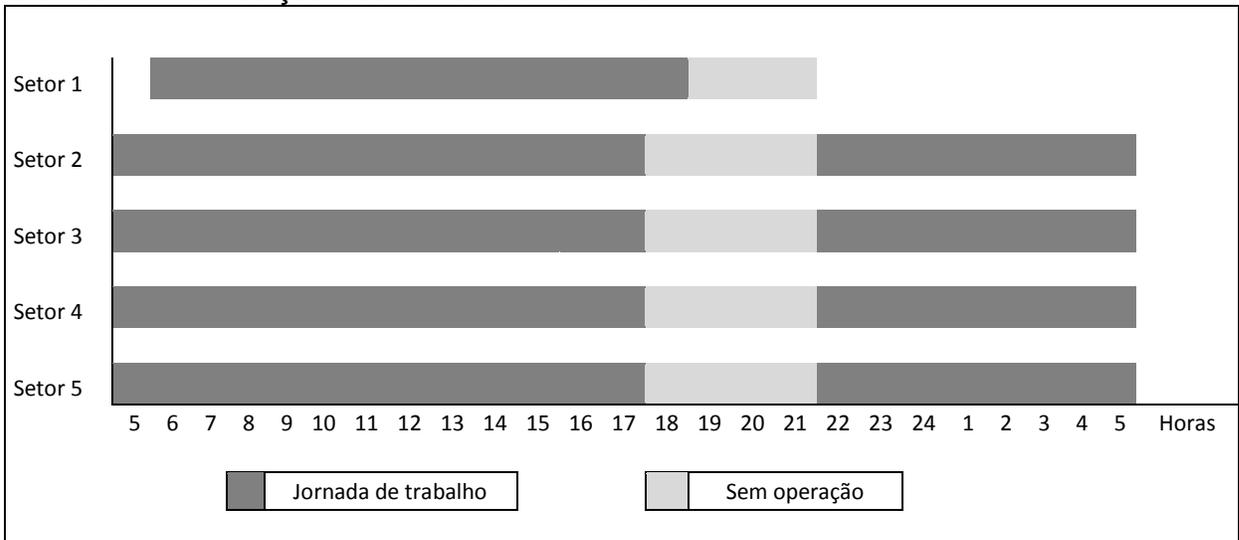


Fonte: Esta Pesquisa, 2017

Esses 5 setores operam durante dois turnos de trabalho diariamente, o primeiro, no modelo conhecido informalmente como “12 por 36”, onde o funcionário executa suas atividades no trabalho por 12 horas, sendo 1 hora destinada a refeição e descanso, porém com um recesso de 36 horas. O segundo turno executa suas atividades trabalhistas no regime mais difundido de 42 horas semanais, totalizando 7 horas diárias de trabalho com 60 minutos de descanso.

O Gráfico 1 demonstra o funcionamento dos turnos de trabalho distribuídos em cada setor da empresa, destacando os horários de entrada e saída dos funcionários.

Gráfico 1 - Distribuição dos turnos de trabalho



Fonte: Esta Pesquisa, 2017

A Tabela 1 sintetiza essas informações adicionando ainda a produtividade atual em Kg/hora, quantidade de funcionários e tempo disponível para operar em cada setor.

Tabela 1 - Capacidade diária efetiva por setor

Características	Setor 1	Setor 2	Setor 3	Setor 4	Setor 5
Regime Trabalhista	12h p/ 36h	12h p/ 36h + 8h	12h p/ 36h + 8h	12h p/ 36h + 8h	12h p/ 36h + 8h
Nº de funcionários	16	5	2	4	6
Tempo Operacional	10 horas (apenas turno da manhã)	17 horas (10,5h turno da manhã + 6,5h turno da noite)	17 horas (10,5h turno da manhã + 6,5h turno da noite)	18 horas (11h turno da manhã + 7h turno da noite)	16 horas (10h turno da manhã + 6h turno da noite)
Produção em Kg/hora	500 kg	417 Kg	390 Kg	342 Kg	315 Kg manhã 205Kg noite
Capacidade Efetiva Diária	5000 Kg	7089 Kg	6630 Kg	6156 Kg	4380 Kg

Fonte: Esta Pesquisa, 2017

Uma estimativa de produção semanal contida no Quadro 2, considera a produção em semanas que nos dias de domingo o quadro de funcionários, os quais trabalham no regime de 42 horas semanais, é reduzido para que não exista encargos de horas extras.

Quadro 2 - Estimativa da produção semanal por setor

	Setor 1	Setor 2	Setor 3	Setor 4	Setor 5
Tempo Operacional p/ semana	70 horas	112,5 horas	112,5 horas	126 horas	106 horas

Produção em Kg/hora	500 kg	417 Kg	390 Kg	342 Kg	315 Kg
Capacidade Efetiva Semanal	35 000Kg	46 913 Kg	43 875 Kg	43 092 Kg	27 510 Kg

Fonte: Esta Pesquisa, 2017

Assim como outros nichos do mercado nacional, a indústria de plástico está inserida num forte laço de competitividade. Como agravante, a economia passou por momentos instáveis no biênio 2015/2016, o que refletiu diretamente na área. Um estudo macroeconômico sobre embalagem, publicado em 2016, indicou um recuo de 4,31% na produção física de embalagens no ano de 2015 em relação ao ano anterior, fechando com um volume bruto de R\$57,3 bilhões (ABRE/FGV, 2016).

Até então, a capacidade efetiva da empresa fornecia um montante de produto acabado de aproximadamente 143 640 kg por mês (considerando 4 semanas contextualizadas pela Tabela 3), porém a partir da redução da demanda no mês de junho de 2016 a empresa enxugou o quadro de funcionários. O Quadro 3 compara a produção mensal do ano de 2016 (capacidade realizada) com as previsões de vendas, incluindo o índice de eficiência e disponibilidade de produtos em estoque.

Quadro 3 - Cenário em 2016 (Capacidade Realizada x Previsão de Demanda)

2016	Capacidade Efetiva (em Kg)	Capacidade Realizada (em Kg)	Índice de Eficiência	Previsão de Demanda (em Kg)	Estoque ou atraso de pedidos em Kg
Janeiro	135450	102395	75,6%	100000	2395
Fevereiro	140520	114105	81,2%	110000	4105
Março	143640	120910	84,2%	118000	2910
Abril	143560	115980	80,8%	116000	-20
Maió	140390	102990	73,4%	105000	-2010

Junho	122100	90440	74,1%	88000	2440
Julho	129630	95755	73,9%	92000	3755
Agosto	130860	98235	75,1%	90000	8235
Setembro	122100	91755	75,1%	87000	4755
Outubro	120870	88575	73,3%	88000	575
Novembro	126480	83755	66,2%	80000	3755
Dezembro	130860	94915	72,5%	85000	9915

Fonte: Esta Pesquisa, 2017

Uma análise dos valores do Quadro 3 mostra o impacto da queda nas vendas a partir da metade do ano, porém estudos recentes da economia brasileira afirmam que em 2017 houve uma mudança de cenário. De acordo com a pesquisa feita pelo Banco do Brasil em conjunto com o IBGE, o PIB da indústria, que caiu 3,8% em 2016, vai avançar 3% em 2017, muito disto referente ao retorno de investimentos no país e aumento do consumo local.

O cenário previsto para o ano de 2017 é contextualizado no Quadro 4, a conquista de novos clientes e o aumento nos pedidos dos clientes em carteira explicam as diferenças numéricas em comparação ao ano anterior.

Quadro 4 - Previsão de vendas para 2017

2017	Previsão de Demanda (em Kg)
Janeiro	100000
Fevereiro	110000
Março	120000
Abril	120000
Maió	135000
Junho	130000
Julho	144000
Agosto	140000

Setembro	140000
Outubro	145000
Novembro	140000
Dezembro	140000

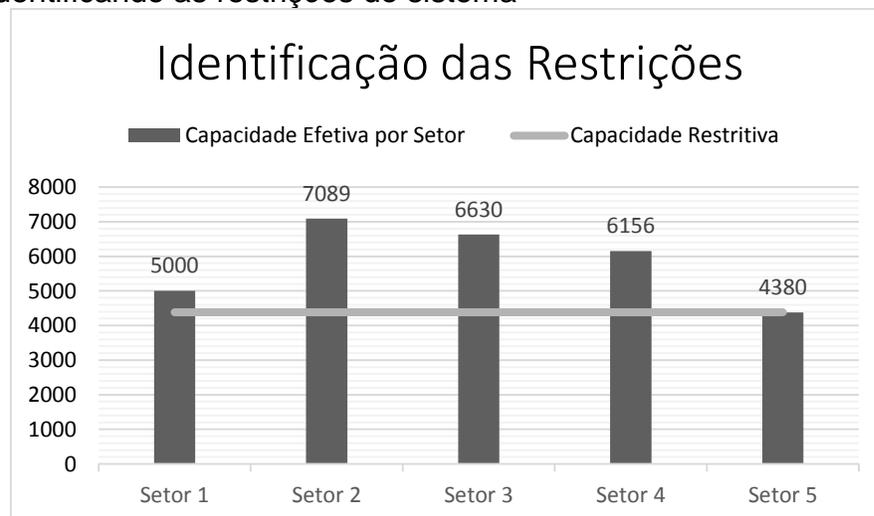
Fonte: Esta Pesquisa, 2017

5.5 Etapas de implementação da TOC

5.5.1 Identificando as restrições (gargalos) do sistema

Através da Tabela 1 pode-se identificar as operações que impõem restrições o fluxo dos produtos, os Setores 1 e 5, iniciais e finais no processo apresentam capacidades efetivas reduzidas em relação aos demais. Facilmente identificável no Gráfico 2 que a linha de produção em estudo é restringida por dois gargalos, tanto o Setor 1 quanto o Setor 5 apresentam valores próximos, mas destoantes dos demais. Um agravante desta situação são as consequências de ociosidade nos Setores 2, 3 e 4, já que por conter uma maior capacidade de processamento terminam suas atividades antes de receber a entrada de produtos vinda do setor 1.

Gráfico 2 - Identificando as restrições do sistema



Fonte: Esta Pesquisa, 2017

5.5.2 Decidir como explorar a restrição do sistema

Após a identificação dos gargalos o passo seguinte está em maximizar a capacidade destes recursos. O método mais adequado para otimizar os gargalos é a eliminação de toda e qualquer atividade que reduza a capacidade, elevando a utilização e eficiência do setor.

Destacando as operações envolvidas no Setor 1 e 5, se nenhuma ação fosse tomada, essas atividades estariam impedindo que a empresa alcançasse as expectativas do mercado, podendo perder espaço para os concorrentes. Com os esforços voltados para estes setores, um plano de ação foi traçado a fim de explorar as restrições.

5.5.2.1 Explorando a Restrição do Setor 1

Destacando o Setor 1, uma análise preliminar através da comparação entre a capacidade efetiva, disponível na Tabela 1, e a previsão de vendas para o ano de 2017, fornecida no Quadro 4, conclui-se que a capacidade atual do setor se encontra inferior à demanda. Investigando o funcionamento dos turnos de trabalho, pode-se concluir que o único turno atual necessita de um complemento.

Geralmente as organizações ao se depararem com uma necessidade de capacidade optam por horas extras, porém no regime atual de trabalho a legislação trabalhista veta a utilização de horas extras para o modelo 12/36 horas.

Logo a inserção de um novo turno no regime de 42 horas semanais seria a decisão cabível, pois incrementaria sete horas em operação, o que em números significam 3500 kg diários adicionais na capacidade efetiva, o impacto nos custos é proporcional a contratação de 7 funcionários acrescidos do consumo da demanda contratada de energia.

Outro ponto a ser destacado é a definição dos horários de trabalho, o Setor 1 tem suas atividades inicializadas uma hora após os demais setores, somado ao fato deste ser o início da linha de produção e se enquadrar entre os gargalos da empresa, esse atraso de inicialização provoca ociosidade nos setores subsequentes. Com finalidade de correção destes problemas, uma nova política de turnos foi confeccionada, remodelando os horários das refeições para que os equipamentos não interrompam seu funcionamento nem tampouco exista ociosidade no sistema como um todo.

Com intuito de evitar a redução da capacidade diária por falhas ou quebras do equipamento foi definido um plano de manutenção preventiva, reforçando a atenção da equipe de manutenção para os setores restritivos do sistema, somado a isto, os horários de manutenção preventiva devem ser transferidos para o período entre troca de turno e dias de funcionamento reduzido, como o Domingo por exemplo.

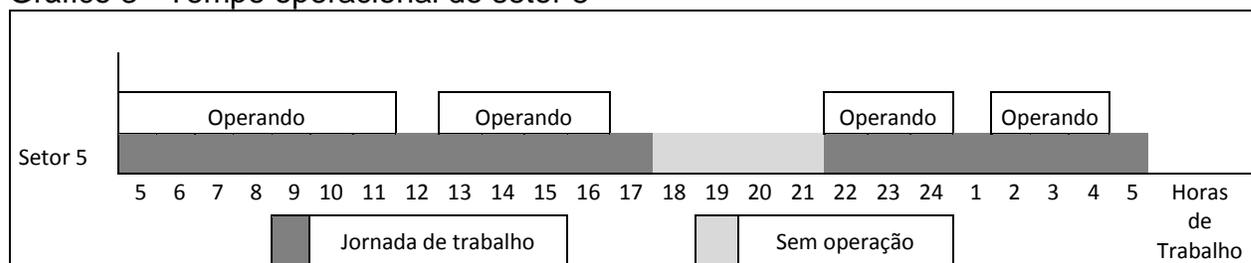
5.5.2.2 Explorando a Restrição do Setor 5

Já sobre o Setor 5, pode-se observar uma divergência de valores na produção por hora entre os turnos (ver Tabela 1). Explorando essa divergência constatou-se que durante o turno da noite, dos 3 equipamentos existentes no setor apenas 2 entravam em funcionamento, dado que foi uma opção da gerência para enxugar os custos nos períodos de baixa demanda.

A inclusão do funcionamento deste equipamento implica na contratação de 2 funcionários, operador e o auxiliar de operação. Este equipamento gera um incremento de 110 Kg por hora, equalizando assim para a mesma capacidade efetiva do turno da manhã.

Ainda sobre o Setor 5, evidenciou-se a necessidade de um estudo aprofundado nos métodos de trabalho na tentativa de maximizar o tempo operacional.

Gráfico 3 - Tempo operacional do setor 5



Fonte: Esta Pesquisa, 2017

Por meio de observações *in loco*, tornou-se possível a obtenção do Gráfico 3, dentre as 12 horas disponíveis para operação do 1º turno de trabalho, apenas 10 horas são realmente destinadas as atividades produtivas, sendo às 2 horas complementares rateadas em uma 1 hora de parada por intervalo de descanso do funcionário e 1 hora

para limpeza e organização do setor ao fim do turno. Semelhante acontece no 2º turno de trabalho, onde se torna ainda mais crítico, pois apenas 75% do tempo disponível das 8 horas do turno estão operacionais.

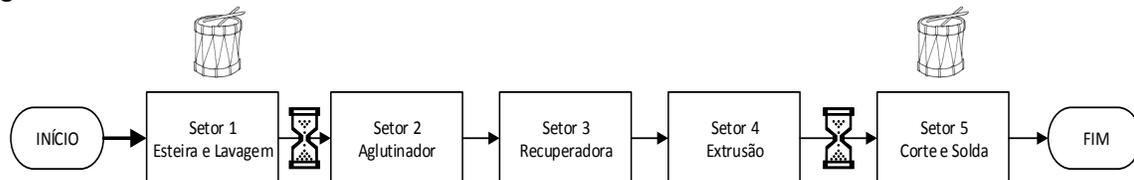
Em busca de maximizar o tempo em operação, as atividades destinadas ao setor em estudo foram redesenhadas, a limpeza e organização do setor devem ser feitas de maneira simultânea à jornada de trabalho, metas diárias e gratificações são importantes a fim de motivar os colaboradores a alcançar níveis maiores de eficiência. Pequenas modificações como suportes e aproximação das ferramentas também foram idealizadas com intuito de tornar mais ágil a operação.

De maneira análoga ao Setor 1, um novo rearranjo dos funcionários foi feito com o objetivo de eliminar a paralisação das máquinas no horário de descanso dos colaboradores. Além disto, a equipe de manutenção direcionou seu foco na elaboração de um plano de manutenção preventiva, objetivando reduzir as falhas e quebras no horário operacional.

5.5.3 Subordinar os demais setores em relação as restrições

Em busca por nivelar a produção e estabelecer um nível eficiente das capacidades entre os 5 setores da empresa, a metodologia TPC (tambor, pulmão e corda) foi utilizada. O procedimento consiste em nivelar a capacidade dos demais setores às restrições, neste caso, em particular os setores 1 e 5, denominados de Tambor do sistema, pois ditam o ritmo de produção.

Figura 9 - Posicionamento do modelo TPC



Fonte: Esta Pesquisa, 2017

Para garantir o máximo possível de funcionamento dos gargalos, os Tambores do modelo TPC, se faz necessário a proteção de possíveis eventualidades por pulmões, ou

seja, um *buffer* temporal que garanta o abastecimento a montante e jusante das restrições.

Evidenciando o Setor 1, cabe a administração de materiais, para Ballou (1993) é caracterizada como o gerenciamento do fluxo de produtos até as operações, definir e gerir o estoque de matéria prima para que a 1ª operação restritiva esteja abastecida.

A respeito do dimensionamento destes estoques pulmões, estudos como o de Melo Filho (2016) utilizam da *expertise* dos gestores em definir um nível de estoque de maneira empírica, já autores como Barcaui e Quelhas (2004) adotam uma abordagem estatística no dimensionamento dos pulmões. Outro modelo de dimensionamento bastante utilizado no algoritmo do TPC é o baseado nos estudos de Radorilsky (1998), neste aplica-se uma abordagem da Teoria das Filas onde configura uma atividade produtiva como um servidor, suas taxas de chegada e saída são equivalentes ao modelo.

Para este estudo buscou-se utilizar preferencialmente a abordagem proposta por Radorilsky em 1998. No dimensionamento do primeiro *buffer*, a jusante do Setor 1, duas restrições impossibilitaram a aplicação do modelo:

i. O fator de utilização “ ρ ”, relaciona as taxas de chegada “ λ ” e de processamento no sistema “ μ ” para filas no modelo M/M/1, onde as equações são validadas quando $\rho = 1$. Na situação do primeiro buffer $\lambda = 8,33 \text{ Kg/min}$ e $\mu = 6,95 \text{ Kg/min}$, resultando em um fator de utilização $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = 1,1986$. Calculados através dos valores obtidos na Tabela 1.

ii. O espaço disponível para estoque é limitado a 1200 kg, restringindo ainda mais a viabilidade do método.

Portanto o dimensionamento deste *buffer* seguirá uma análise estatística baseada nos tempos de paralização do Setor 1, valores históricos do indicador de disponibilidade de funcionamento do setor são demonstrados através do quadro 5.

Quadro 5 - Disponibilidade do setor 1

Data	Tempo médio de Funcionamento	Qtd. De Paradas	Tempo Parado	Disponibilidade
jan/15	09:26:00	2	0:59:00	90,56%
fev/15	09:47:59	1	0:37:01	94,08%

mar/15	09:07:00	3	1:18:00	87,52%
abr/15	08:58:50	3	1:26:10	86,21%
mai/15	08:59:55	1	1:25:05	86,39%
jun/15	09:21:08	4	1:03:52	89,78%
jul/15	09:25:30	6	0:59:30	90,48%
ago/15	09:17:51	1	1:07:09	89,26%
set/15	08:22:17	3	2:02:43	80,37%
out/15	09:21:14	6	1:03:46	89,80%
nov/15	09:35:42	5	0:49:18	92,11%
dez/15	09:14:08	3	1:10:52	88,66%
jan/16	09:25:03	7	0:59:57	90,41%
fev/16	08:21:33	1	2:03:27	80,25%
mar/16	09:44:07	6	0:40:53	93,46%
abr/16	09:31:07	2	0:53:53	91,38%
mai/16	08:43:34	6	1:41:26	83,77%
jun/16	09:12:31	1	1:12:29	88,40%
jul/16	09:35:27	8	0:49:33	92,07%
ago/16	09:38:53	1	0:46:07	92,62%
set/16	08:36:46	7	1:48:14	82,68%
out/16	08:51:47	20	1:33:13	85,09%
nov/16	09:03:21	9	1:21:39	86,94%
dez/16	09:01:04	1	1:23:56	86,57%

Fonte: Esta Pesquisa, 2017

Analisando os valores da disponibilidade através do Software ARENA®, observa-se um comportamento regido pela distribuição Normal (ver anexo 01), com média de 88,3% de disponibilidade e desvio padrão em 3,77%. Em busca por uma definição do dimensionamento do estoque pulmão, “dos 3- σ ” afirma que 95,44% das amostras irão recair dentro do intervalo delimitado pela média amostral mais dois desvios padrões. Por

tanto, o intervalo a ser considerado entre a porcentagem de disponibilidade do Setor 1 é $80,76\% < 88,3\% > 95,84\%$.

Adotando uma visão pessimista dos valores deste intervalo, foi selecionado o valor de 80,76% da disponibilidade como extensão do estoque, resultando em 120,25 minutos de paralisação diária, o que pode ser convertido para 1002 Kg de produto.

Já na aplicação do *buffer* que resguarda as atividades do Setor 5, o modelo proposto por Radorilsky(1998) é exequível. O pulmão de tempo ótimo pode ser encontrado pela equação:

$$L = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot C_{th}}{C_{oe}}} - 1$$

Onde:

L = Valor do *buffer* ótimo, para $\rho = 1$;

μ = Taxa de chegada, ou seja, o processamento em Kg p/ hora do Setor 4;

C_{th} = Margem de Contribuição pela venda de uma unidade de produto (preço de venda – custo variável);

C_{oe} = Custo de manutenção do estoque.

O procedimento inicial se assemelha com o dimensionamento do *buffer* anterior, onde uma validação se faz necessária para viabilizar a aplicabilidade do modelo. Para tal, as taxas de chegada de produtos ao Setor 5 bem como sua taxa de processamento devem ser relacionadas.

O valor para λ pode ser obtido na Tabela 1, onde indica a capacidade de processamento do setor imediatamente anterior ao Setor 5, logo o valor de 342 Kg p/ hora $\lambda = 342 \text{ Kg p/ hora}$. O Setor 5, após as modificações será capaz de processar 342 Kg p/ hora, apresentando um $\mu = 342,5 \text{ Kg p/min}$, logo o fator de utilização dado por $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = 1$, viabilizando assim o uso do método proposto por Radorilsky.

Para a definição do C_{th} , os dados do custo variável e o respectivo preço de venda foram obtidos com o Diretor da empresa. Com um valor para venda de R\$ 6,20 por Kg de sacola e seu custo variável representa cerca de 52,37% do faturamento, gerando um montante de R\$ 3,24 em custo por Kg de sacola faturada. Logo o Margem de Contribuição é de aproximadamente R\$ 2,95.

O custo de manutenção de estoque é definido por Ballou (1993) como os custos necessários para manter determinado nível de produto armazenado, este custo engloba os custos envolvidos com a armazenagem, o do risco ao produto, encargos de impostos e o custo da perda de oportunidade. O custo final de manutenção do estoque é de R\$ 0,20 a por Kg de produto, obtido através de consulta ao Diretor. Por meio destes valores, o pulmão dado em horas pela equação Radorilsky vale:

$$L = \sqrt{\frac{2 \times 342 \times 2,95}{(0,20 \times 342)}} - 1 \cong 4.4314 \text{ horas}$$

Sendo assim, 4,4314 horas de *buffer* no Setor 5 com um processamento de 342 Kg p/hora são equivalentes a 1515,5 Kg de estoque pulmão para o modelo TOC estudado.

Nos Setores 2,3 e 4 coube o modelo de “corda”, ou seja, terão seu comportamento regido pelos Setores 1 e 5, o que significa produzir o necessário para suprir os estoques pulmões e atender o volume de insumo nas restrições.

5.5.4 Implementar melhorias nas restrições

Durante o período de janeiro a maio de 2017 os tópicos abordados pelo item 4.4.2 foram implementados, o horário de trabalho foi modificado bem como reuniões mensais executadas. Somado a isto metas setoriais foram traçadas a fim de estabelecer a produção necessária e eficiente entre os setores gargalos e não restritivos do sistema.

A diferenciação do produto a partir do setor 4 apresenta-se como uma peculiaridade deste processo, sendo desta forma distinto dos setores antecessores, uma vez que as operações de 1 a 3 resultam em apenas um tipo de item. Posto isto, identifica-se uma possível oportunidade de melhoria.

Detalhando o Setor 4, composto por 4 equipamentos em que devem ser alocados a produção de 5 tipos diferentes de produtos, neste caso a diferenciação se dá nas diversas larguras das bobinas plásticas. O objetivo do gestor está em alocar os tipos de produtos entre os 4 equipamentos, de maneira a otimizar a produção e garantir a demanda das bobinas pelo setor seguinte.

Com o estudo, constatou-se que essa decisão era tomada de maneira empírica, mesmo contando com a experiência do profissional, possíveis desperdícios são intrínsecos. A implementação da TOC visa equalizar as operações e manter a coordenação dos mesmos, logo uma decisão errada gera impactos negativos em toda linha.

A fim de proporcionar uma implementação coesa do modelo, necessita-se elaborar uma melhoria nesta decisão, para tal, o suporte advindo da Pesquisa Operacional será utilizado. A melhoria envolvida pode ser modelada como a problemática do *mix* ótimo de produto, sendo regidas pelos fatores: demanda, capacidade máxima de cada equipamento e eficiência do equipamento com o possível produto.

Considerando a produtividade por hora dos 5 possíveis produtos aos 4 equipamentos, conhecidos como extrusoras, pode-se resumir no Quadro 6.

Quadro 6- Produtividade de cada equipamento

Produto	1,20 m	1,0m	0,90m	0,70m	0,60m
Extrusora 1	115kg	100kg	110kg	70kg	68kg
Extrusora 2	90kg	95kg	67kg	60kg	59kg
Extrusora 3	0kg	70kg	58kg	65kg	63kg
Extrusora 4	0kg	70kg	60kg	68kg	58kg

Fonte: Esta Pesquisa, 2017

De maneira semelhante, a demanda dos produtos (incluindo o buffer de 1515Kg rateado entre os itens) e a capacidade de produção em Kg para cada equipamento são demonstrados nos Quadros 7 e 8.

Quadro 7 - Demanda semanal dos 5 produtos

Demanda Semanal em Kg por produto				
1,20 m	1,0m	0,90m	0,70m	0,60m
20900 Kg	3500 Kg	4000 Kg	1200 Kg	2000 Kg

Fonte: Esta Pesquisa, 2017

Quadro 8 - Capacidade de produção dos equipamentos

Produção máxima semanal por equipamento			
Extrusora 01	Extrusora 02	Extrusora 03	Extrusora 04
14490 Kg	11340 Kg	9828 kg	8820 kg

Fonte: Esta Pesquisa, 2017

Com esses valores torna-se possível criar um modelo matemático que auxilie a tomada de decisão do gestor, executando o cálculo a cada alteração dos parâmetros de demanda e eficiência dos equipamentos.

A respeito do modelo matemático, seu objetivo é maximizar a quantidade a ser produzida de cada item, considerando a eficiência dos mesmos entre os 4 equipamentos, no qual o resultado deve ser subordinado as restrições de capacidade das máquinas, bem como a demanda semanal dos itens.

Sendo assim, a modelagem que maximiza a eficiência é definida como:

Função Objetivo:
$$MAX Z = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^5 P_{ij} x X_{ij}$$

Sujeito as restrições de:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq C_i$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \geq D_j$$

$$X_{ij} \geq 0$$

Onde:

i será a Extrusora = 1, ..., n ; com $n = 4$.

j será o Produto = 1, ..., m ; com $m = 5$.

P_{ij} Será a produtividade por hora no equipamento i relacionado ao produto j .

X_{ij} Será quantidade produzida na extrusora i do item j .

C_i Será a capacidade máxima do equipamento i .

D_i Será a demanda que deve ser atendida do produto j .

O modelo foi transcrito para o Software Cplex® da IBM, com o algoritmo exposto abaixo:

```

/*****
* OPL 12.7.1.0 Model
* Author: Marcos André Jordão
* Creation Date: 20/06/2017 at 19:40:42
*****/
//Parâmetros//
int nmaquinas = 4;
range maquinas = 1..nmaquinas;
int nprodutos = 5;
range produtos = 1..nprodutos;
//Capacidade e Demanda//
float Capacidade[maquinas]=[14490, 11340, 9828, 8820];
float Demanda[produtos]=[20900, 3500, 4000, 1200, 2000];
//Produtividade por Máquina//
float producaohora[maquinas][produtos]=[[115,100,110,70, 68],
                                           [90,95,67,60,59],
                                           [0,70,58,65,63],
                                           [0,70,60,68,58]];

// Variáveis de Decisão//
dvar float+ produzido[maquinas][produtos];
//Função Objetivo//
maximize
sum (u in maquinas, c in produtos) producaohora[u][c]*produzido[u][c];
//Restrições//
subject to {
  forall (u in maquinas)
    sum (c in produtos)
      produzido[u][c] <= (Capacidade[u]);
  forall (c in produtos)
    sum (u in maquinas)
      produzido[u][c] >= Demanda[c];
}
Fonte: Esta Pesquisa, 2017

```

Os valores obtidos com o modelo estão representados no Quadro 9, a função objetivo que multiplica a produtividade pela quantidade produzida total dos j produtos resultou em um valor ótimo do índice em eficiência de 4.029.184 produtos p/horaxProdução final.

Quadro 9 Resposta do modelo

Produzir em Kg:	1,20 m	1,0m	0,90m	0,70m	0,60m
Extrusora 1	10490	0	4000	0	0
Extrusora 2	10410	930	0	0	0
Extrusora 3	0	7828	0	0	2000
Extrusora 4	0	7620	0	1200	0

Fonte: Esta Pesquisa, 2017

Esse resultado satisfaz todas as restrições e otimiza a produção do setor, o montante final foi de 44478 Kg em bobinas plásticas.

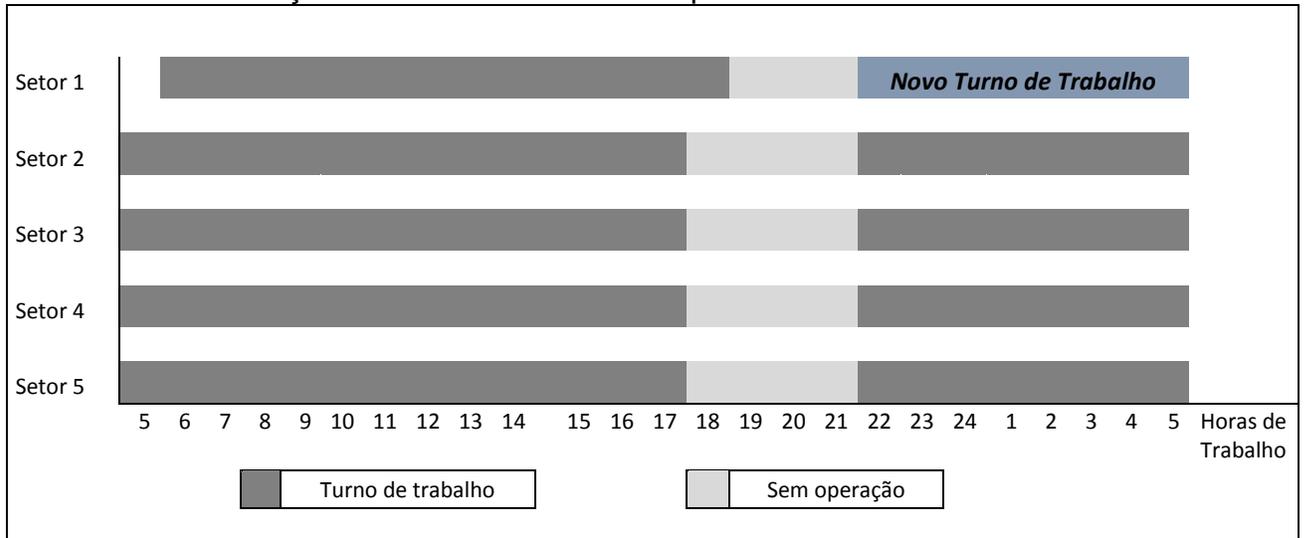
5.5.5 Retornando ao passo 1 do modelo TOC

A metodologia TOC é cíclica e a cada iteração, ou seja, conclusão dos primeiros 4 passos, o modelo se realimenta, se a restrição permanecer no mesmo setor se faz necessário novas modificações e estudo, porém quando os gargalos são deslocados um novo ciclo deve ser executado até que toda a organização esteja de forma eficiente.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pontos elencados pelo estudo se tornaram insumos para a implementação do modelo TOC na empresa em questão, o Gráfico 4 destaca as alterações da inserção do novo turno de trabalho no Setor 1.

Gráfico 4 - Distribuição dos turnos de trabalho após TOC



Fonte: Esta Pesquisa, 2017

O Quadro 4 resume as informações após a implementação do modelo TOC, destaca-se o aumento dos funcionários provocados pela inserção de um turno de trabalho no Setor 1 além do acréscimo de 2 colaboradores no ultimo setor. Fato semelhante ocorreu no estudo em uma cadeia produtiva de uma indústria farmacêutica por Lagreca (2012), onde ao implantar o modelo, constatou-se a necessidade do aumento de capacidade no setor restritivo,

Outro ponto relevante foi a mudança no indicador “Produção em Kg/hora”, onde antes o Setor 5 alcançava valores máximos de 315 Kg/hora em operação, atualmente 342Kg/hora são processados. Ampliando o horizonte temporal, a Capacidade Efetiva diária do mesmo setor obtinha 3480Kg de sacolas, hoje sua Capacidade Efetiva se encontra com 6224Kg, gerando um aumento de 78,85% em relação ao cenário dos últimos meses de 2016.

Tabela 2 - Comparativo da capacidade efetiva após implementação da TOC

Características	Setor 1	Setor 2	Setor 3	Setor 4	Setor 5
Regime	12h p/ 36h	12h p/ 36h	12h p/ 36h	12h p/ 36h	12h p/ 36h
Trabalhista	+ 8h	+ 8h	+ 8h	+ 8h	+ 8h
Nº de funcionários	23	4	2	4	8
Tempo Operacional	10 horas + 6 horas	17 horas	17 horas	18 horas	16 horas + 2,2 horas
Produção em Kg/hora	500 kg	417 Kg	390 Kg	342 Kg	342Kg
Capacidade Efetiva Diária (Após a TOC)	8000 Kg	7089 Kg	6630 Kg	6156 Kg	6224 Kg
Capacidade Instalada Diária (Antes da TOC)	5000 Kg	7089 Kg	6630 Kg	6156 Kg	4380 Kg

Fonte: Esta Pesquisa, 2017

Grande parte do ganho em Capacidade Efetiva e por consequência em produtividade se deu através das melhorias nos métodos de trabalho e organização dos horários de execução das atividades operacionais, essas modificações propostas pelo algoritmo TPC visam o aumento da disponibilidade, ou seja, busca-se ampliar o tempo produtivo dentro das organizações.

Ainda sobre os setores restritivos do sistema em estudo, houve um acréscimo de 6 horas diárias operacionais com a inserção do novo turno de trabalho, já o Setor 5 ampliou em 2,2 horas (duas horas e doze minutos) relacionadas as melhorias operacionais além da equalização da produtividade, pois antes o 2º turno de trabalho tinha apenas o funcionamento de dois equipamentos.

No Quadro 9 pode-se verificar o impacto no montante final de produtos acabados dentre janeiro a maio de 2017, comparando com a média da Capacidade Realizada dos últimos 5 meses antes da implementação da TOC, que era de 91447 Kg, houve um

aumento de 32,30% na mesma média após modelo TOC, chegando aos 120986 Kg de sacolas produzidas mensalmente.

Quadro 10 – Capacidade realizada após implementação da TOC

2017	Capacidade Efetiva (em Kg)	Capacidade Realizada (em Kg)	Índice de Eficiência	Previsão de Demanda (em Kg)	Estoque mensal
Janeiro	164844	117234	71,1%	115000	2234
Fevereiro	155268	112455	72,4%	110000	2455
Março	173736	125834	72,4%	120000	5834
Abril	164844	119795	72,7%	120000	-205
Maió	161424	129615	80,3%	135000	-5385

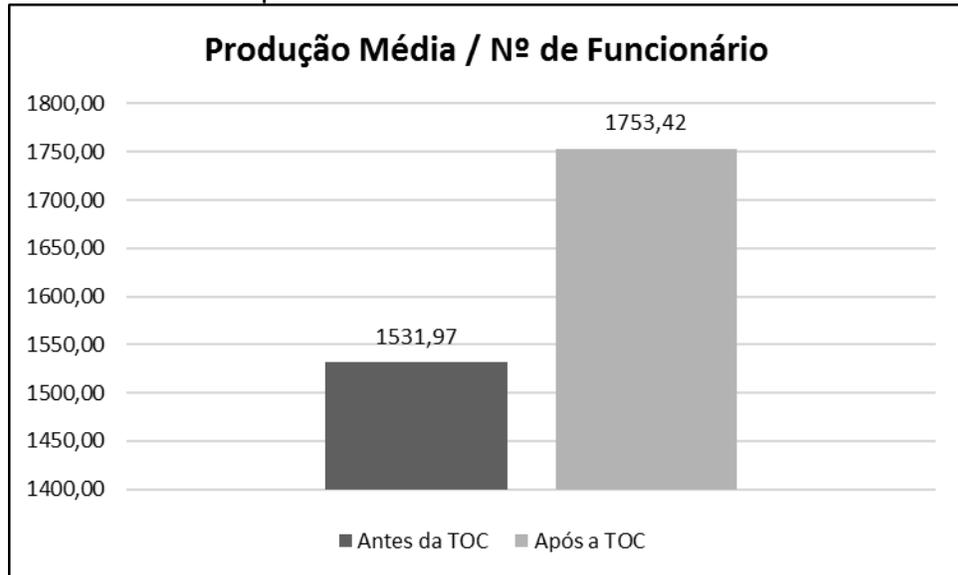
Fonte: Esta Pesquisa, 2017

Evidenciando os resultados obtidos com o estoque final, onde este é consequência da subtração entre a Previsão de Demanda e a Capacidade Realizada, observa-se uma outra possibilidade de estudo, utilizando o método de suavização da demanda por estoque, visto que os produtos finais acumulados, entre janeiro a março, conseguem suprir os meses de abril e maio.

Vale salientar a redução do *lead time* entre pedido e recebimento do produto pelo cliente, pois a implementação da TOC proporcionou ao processo acompanhar as reais necessidades em volume da demanda. Resultados semelhantes foram obtidos por Rand (2000) em estudo da TOC aplicada ao projeto de gestão, onde no já no primeiro projeto, obteve a conclusão de 99,5% com antecedência de duas semanas.

Um outro indicador passivo de análise pode ser delineado pela divisão da média de Capacidade Realizada, dos últimos 5 meses, pelo número de funcionários. O Gráfico 5 compara o cenário a montante e jusante da aplicação do modelo, após relacionar os dados fica claro um aumento de 14,45% na taxa de produtividade da empresa, mesmo com as 9 contratações.

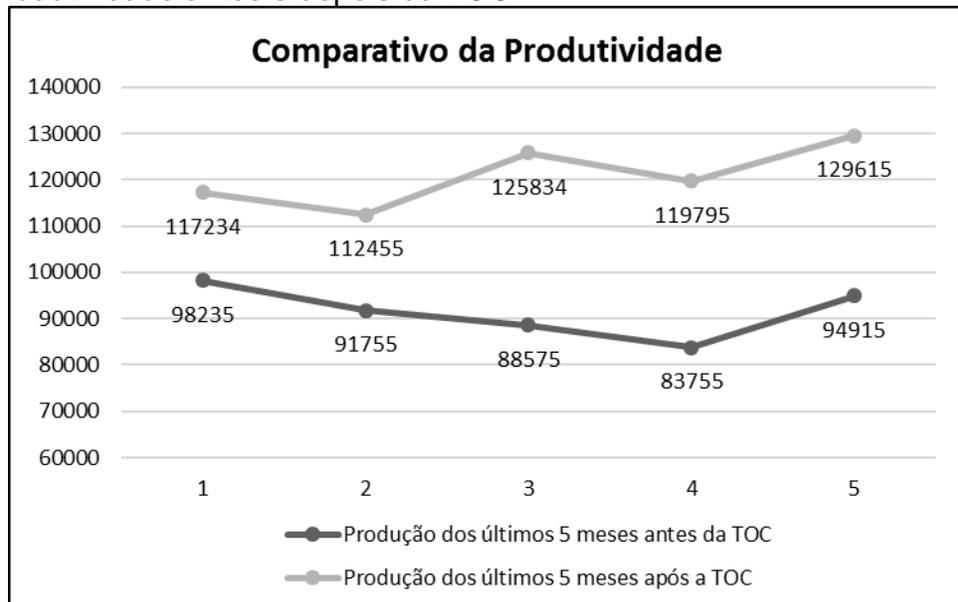
Gráfico 5 – Indicador de desempenho



Fonte: Esta Pesquisa, 2017

Detalhando ainda mais o comparativo entre a produtividade da empresa, nota-se pelo Gráfico 6 que mesmo nos períodos iniciais, conturbados por consequência de todas as mudanças envolvidas bem como a curva de aprendizado dos novos funcionários, ainda supera a melhor faixa de produção do cenário anterior a TOC.

Gráfico 6 – Produtividade antes e depois da TOC



Fonte: Esta Pesquisa, 2017

Os resultados podem ser abordados no aspecto do faturamento, inserindo a média dos últimos cinco meses da Capacidade Realizada a montante e jusante da TOC, houve um aumento de 29.539 Kg de sacola, em média o preço de venda do Kg deste produto vale R\$6,20, logo o incremento no faturamento mensal da empresa é de aproximadamente R\$ 183.141,80.

Efeitos semelhantes foram obtidos por Neto e Marco (2006), com um aumento de 55,18% no lucro líquido em sua aplicação do modelo a uma indústria metal mecânica. Já Santos (2007), propôs a aplicação da Teoria das Restrições em uma indústria de máquinas para produtos alimentícios, seus objetivos almejavam elevar a capacidade da empresa para produzir 10 equipamentos, o que antes seriam de 6 máquinas mensais, gerando um aumento de capacidade produtiva de 66,67% aproximadamente. Outro ponto a destacar na aplicação da TOC é sua aplicabilidade em diversos tipos de organizações, Martins (2002) implementou a lógica da quebra das restrições em uma indústria moveleira de pequeno porte, remodelando a forma de pensar do gestor diante do gerenciamento das operações.

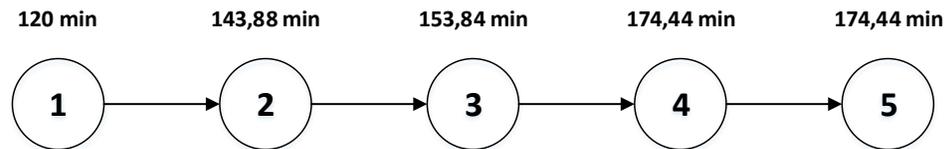
6.1 Balanceamento de linha pelas heurísticas

Uma outra opção para balanceamento de linha quando não se quer influenciar no modelo de gestão, é a abordagem numérica provinda da aplicação do Método de Helgelson & Birnie ou Kilbridge & Webster. O objetivo principal está em balancear a linha dando-lhe a máxima eficiência e conseqüentemente a redução dos postos de trabalho, reduzindo também a ociosidade do sistema.

Com intuito didático e de adequação ao modelo, algumas restrições foram relaxadas, outro ponto a ser considerado é a divergência dos horários de funcionamento, ou seja, o processo produtivo estudado é composto de 5 setores, logo os cálculos foram elaborados para um turno único de 18 horas diárias como maneira de equalizar a disponibilidade de horas entre os setores.

Ilustrado pela Figura 9, o diagrama de precedência adicionado dos tempos de processamento, em cada setor para o volume de 1 tonelada.

Figura 10 - Diagrama de procedência



Fonte: Esta Pesquisa, 2017

O tempo de ciclo é calculado em 18 horas disponíveis, a demanda diária é proveniente dos 120.000 Kg médios mensais, gerando um valor diário de 4.000 Kg.

$$Tc = \frac{60\text{min} \times 18 \text{ horas}}{4 \text{ toneladas}} = 270 \text{ minutos}$$

Dado este tempo de ciclo, a eficiência do sistema é dada pelo somatório dos tempos individuais, totalizando 783,634 minutos, dividido pelo número de postos de trabalho vezes o tempo de ciclo.

$$Eficiência = \frac{766,6}{5 \times 270} = 0,5678$$

Pelo Método de Helgelson & Birnie, inicialmente deve-se calcular o número necessário de postos de trabalho, dado através da relação do tempo total das atividades com tempo de ciclo.

$$m = \frac{766,6}{270} = 2,839$$

Para um aumento em eficiência se faz necessário alocar o conjunto de atividades em apenas 3 postos de trabalho (maior inteiro obtido da equação anterior), a heurística do peso da posição propõe a ordem de alocação das atividades em 1, 2, 3, 4 e 5, fica claro perceber que a ordem do modelo é a mesma ordem aplicada atualmente, pois as atividades dependem diretamente da atividade precedente mais próxima.

Tabela 3 - Classificação pelo método do peso da posição

Peso da Posição	
$\sum Tarefa\ i + tarefas\ que\ seguem$	
1	120+143,88+153,84+174,44+174,44
2	143,88+153,84+174,44+174,44
3	153,84+174,44+174,44
4	174,44+174,44
5	174,44

Fonte: Esta Pesquisa, 2017

Na tentativa de unir duas atividades ao mesmo posto de trabalho, o objetivo é somar os tempos das operações próximas seguindo a ordenação proposta pelo modelo, neste caso a soma das atividades 1 e 2 resulta em 263,88 minutos, tempo inferior aos 270 minutos do tempo de ciclo, com a fusão das atividades em um mesmo posto de trabalho deve-se recalculer o impacto na eficiência.

$$Eficiência = \frac{766,6}{4 \times 270} = 0,7098$$

Nesta configuração, observa-se um aumento de 14,11% na eficiência da linha de produção em estudo, uma eficiência ainda melhor seria alcançada quando os postos de trabalho fossem reduzidos à 3, para isto, é necessário investimento ou possível desenvolvimento de melhorias voltadas aos setores 3,4 e 5 com intuito de reduzir seus tempos de processamento tornando assim possível a junção de mais um posto de trabalho.

Observa-se que ao alimentar o modelo Heurístico com as modificações resultantes da TOC, encontra-se mais uma possível melhoria. Dentre as vantagens do modelo de gestão proposto pela Teoria das Restrições está em seu caráter iterativo, onde a cada ciclo novos procedimentos podem ser aplicados em busca da eficiência das operações.

6.2 Discussões Gerenciais

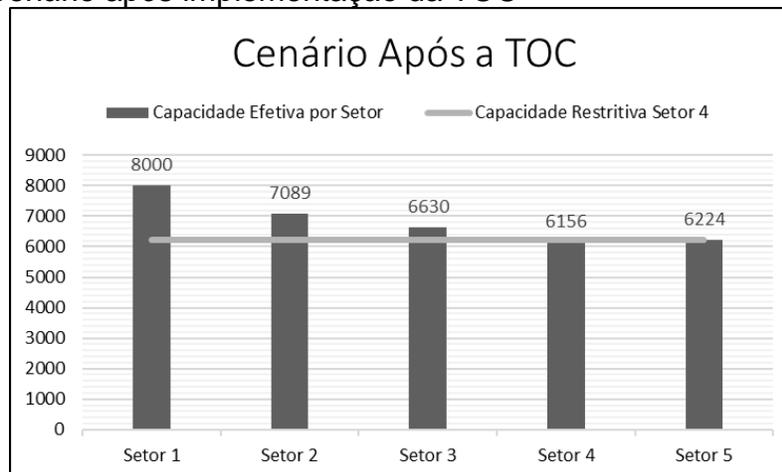
A Teoria das Restrições e seu algoritmo do TPC, além de inferir numericamente no processo, traz uma abordagem diferenciada de gestão. Seu mantra inicial afirma que investir no recurso não restritivo em nada implicará ao processo, reforçando o direcionamento do modelo. Do ponto de vista gerencial, suas implicações trouxeram a empresa uma nova ótica sistêmica e direcionada, promovendo uma mudança principalmente nas decisões dos gestores.

Resumidamente, as decisões em melhorias eram tomadas através de uma abordagem local, onde se buscavam maximizar cada setor, porém os números finais se mantinham. Com as melhorias após a implementação TOC, ficou mais claro identificar e corrigir as possíveis restrições do processo, bem como liderar a empresa a seus objetivos a médio e longo prazo.

Devido a sua abordagem iterativa, a manutenção do sistema manufatureiro em estudo se torna delineada pelos pontos Demanda e Processo. A médio prazo, pode-se avaliar o comportamento da Demanda verificando se o sistema atual estará capacitado a supri-la, um possível cenário seria um aumento de pedidos, onde através de uma 2ª Iteração pode-se promover melhorias a fim de abastecer 100% dos pedidos.

Observando o Gráfico 7, os Setores 4 e 5 seriam futuros candidatos a melhorias, dado que todo o sistema teria seu comportamento restringido. Sendo assim, a natureza sistemática da TOC garante um mapeamento das operações e direciona o gestor em sua tomada de decisão.

Gráfico 7 – Cenário após implementação da TOC



Fonte: Esta Pesquisa, 2017

7 CONCLUSÃO

Com os resultados postos, pode-se concluir a viabilidade da implementação do modelo de gestão da TOC nesta organização. Tendo como seus reais benefícios a obtenção do Balanceamento da linha, conhecimento aprofundado do processo e em detalhe os números de cada operação, assim como o direcionamento dos gestores da empresa para um fluxo sistêmico baseado no raciocínio lógico da boa gestão.

Neste estudo, os resultados foram de um aumento médio de 29539 Kg de produtos acabados, em um horizonte mensal de tempo, sendo equivalentes a 32,30% de ganho na produtividade da empresa. Sobre a perspectiva financeira, o aumento produtivo gerou um ganho médio no faturamento de aproximadamente R\$ 183.141,80.

É relevante destacar que além dos ganhos em produtividade, que podem ser mensuráveis, houve um grande avanço no modelo de gestão, fornecendo a organização não somente uma melhoria pontual no tempo, mas sim, uma autonomia para futuras correções e aperfeiçoamento do processo.

REFERÊNCIAS

- BARCAUI, A.B.; QUELHAS, A. **Corrente crítica: uma alternativa a gerencia de projeto tradicional.** Disponível em:
<ftp://est.ufmg.br/pub/lupercio/management/sem_0702.pdf. Acesso em: 05 abr. 2017.
- BALLOU, R.H. **Logística empresarial: transporte, administração de materiais e distribuição física** / Ronald H. Ballou; tradução Hugo T. Y. Yoshizaki – São Paulo: Atlas, 1993.
- BECKER, C.; SCHOLL, A. ***State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing.*** European Journal of Operational Research, v. 168, p. 666-693, 2004.
- BOYSEN, N.; FLIEDNER, M.; SCHOLL, A. ***A classification of assembly line balancing problems.*** European Journal of Operational Research, v. 183, p.674- 693, 2006.
- CAMPOS, V. F. **Gerenciamento pelas diretrizes.** 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996.
- CHIAVENATO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração.** São Paulo, 6a. ed. - Editora Campus, Rio de Janeiro 2003.
- COGAN, S. **Contabilidade gerencial: uma abordagem da teoria das restrições.** São Paulo: Saraiva, 2007.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e de operações. Manufatura e serviços: uma abordagem estratégica.** 1. ed. São Paulo: Atlas, 2012. 446 p.
- CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N. ***Just in Time, MRP II, OPT: um enfoque estratégico.*** 2. Ed. São Paulo: Atlas, 1993.
- FERNANDES, F. C. F.; MORÁBITO, R. **Linguagens de Modelagem GAMS e LINGO: Aplicação a um problema de Balanceamento de Linha de Montagem;** Cadernos de Engenharia de Produção, Ano X, n. 20, p. 8-31, 1993.
- FREITAS, A. L. C. **Design e artesanato: uma experiência de inserção da metodologia de projeto de produto.** Belo Horizonte: UFMG. Dissertação de Mestrado, 2006.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa,** 4 ed, , São Paulo, Atlas, 2009.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A meta**. São Paulo, Educator, 1997, 1998, 2002.

GOLDRATT, E. M. **Standing on the Shoulders of Giants: Production concepts versus production applications The Hitachi Tool Engineering example**. Gestão e Produção, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2009000300002>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

GUINATO, P. **Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente, Just-in-Time**. Caxias do Sul: Educs, 1996

HELGESON, W.B.; SALVESON, M. E.; SMITH, W. W. **How to balance an assembly line**. Management Report n. 7 (New Caraan, Conn.: Carr Press, Division for Advanced Management), 1954

HESKETT, J. **Desenho Industrial**. Tradução: Fábio Fernandes. 3ª ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 2006.

HINO, S. **O Pensamento Toyota - Princípios de Gestão para um Crescimento Duradouro**. 1. ed., Porto Alegre: Bookman, 2009.

LAGRACA, F.R. **Aplicação da teoria das restrições na gestão da cadeia produtiva de uma indústria farmacêutica**. Disponível em: <<https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/14549>>. Acesso em: 13 fev 2017.

LUPERI, M. **A segunda negação do processo de trabalho**. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://w.teses.usp.br> >. Acesso em: 04 de março de 2017.

MARTINS, F. A. **O processo de raciocínio da teoria das restrições na indústria moveleira de pequeno porte: um estudo de caso**. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/83785/fmartins1.pdf?sequence>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

MELO FILHO, S.B. **Implantação da teoria das restrições numa indústria de confecções do estado do Ceará**. Disponível em: <<http://departamentos.ufc.br/engenhariadeproducao/wp-content/uploads/2017/01/tcc-sergio-b-m-filho.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2017.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pioneira, 2001.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**. Porto Alegre: Bookman, 1999.

- OLIVEITA, C.; BELDERRAIN, M.; ALVES, J. **Um modelo estruturado de planejamento e controle de produção em um sistema hospitalar.** Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004_Enegep0116_0550.pdf>. Acesso em 21 jan. 2017.
- PINTO, A.; DUARTE, A.; SAMPAIO, M. A. **Teoria das restrições aplicada em empresa de serviços: um estudo de caso.** Disponível em <<http://dvl.ccn.ufsc.br/congresso/anais/2CCF/20080718100244.pdf>>. Acesso em 23 abr. 2017.
- QUELHAS, O.; BACAUI, A. A. **Teoria das restrições aplicada a gerencia de projetos: uma introdução à corrente critica.** Artigo 2005 Disponível em: <http://www.pmtech.com.br/newsletter/Marco_2005/TOC_e_CCPM_em_GP.pdf>.
- RADOVILSKY, Z. D. ***A quantitative approach to estimate the size of the time buffer in the theory of constraints.*** Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092552739700131X>>. Acesso em: 29 jan. 2017.
- RAND, G. K. ***Critical chain: the theory of constraints applied to project management.*** International Journal of Project Management, v. 18, p. 173-177, 2000. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 02 nov. 2009.
- REZENDE, E.; SILVA, M.; VILELA, M.; PRADO, R. **Aplicação dos conceitos da teoria das restrições ao processo produtivo de uma industria de doces: um estudo de caso.** Disponível em: <<http://cont.aedb.br/seget/artigos12/36516341.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2017.
- RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKI, L. J. **Administração da produção e operações.** São Paulo: Pearson Education, 2004.
- ROCHA NETO. A.; MARCO. R. A. **A teoria das restrições na pratica: elevação dos gargalos no processo de uma indústria metal mecânica.** Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/782.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2017.
- ROCHA, D. R. **Balanceamento de linha – um enfoque simplificado.** 2005. Disponível em: <<http://docslide.com.br/documents/balanceamento-de-linha.html>>. Acesso em: 04 mar. 2017.

SCHOLL, A. *Balancing and sequencing assembly lines*, 2nd ed. Physica, Heidelberg, 1999.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. rev. e atual. São Paulo, SP: Cortez, 2007.

SEVERIANO, C. F. **Impacto do desequilíbrio entre carga e capacidade provocado pela obsolescência de máquinas e equipamentos na estrutura de custos da empresa**. Disponível em: < <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3373>>. Acesso em: 27 jan. 2017.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 1999.

SHINGO, S. **Sistemas de Produção com Estoque Zero**. Porto Alegre: Bookman, 1999

SILVA, M.; GUSMÃO, A.; MELO, R.; **Aplicação da técnica de balanceamento de linha em uma indústria de produtos de PVC**. Disponível em: <

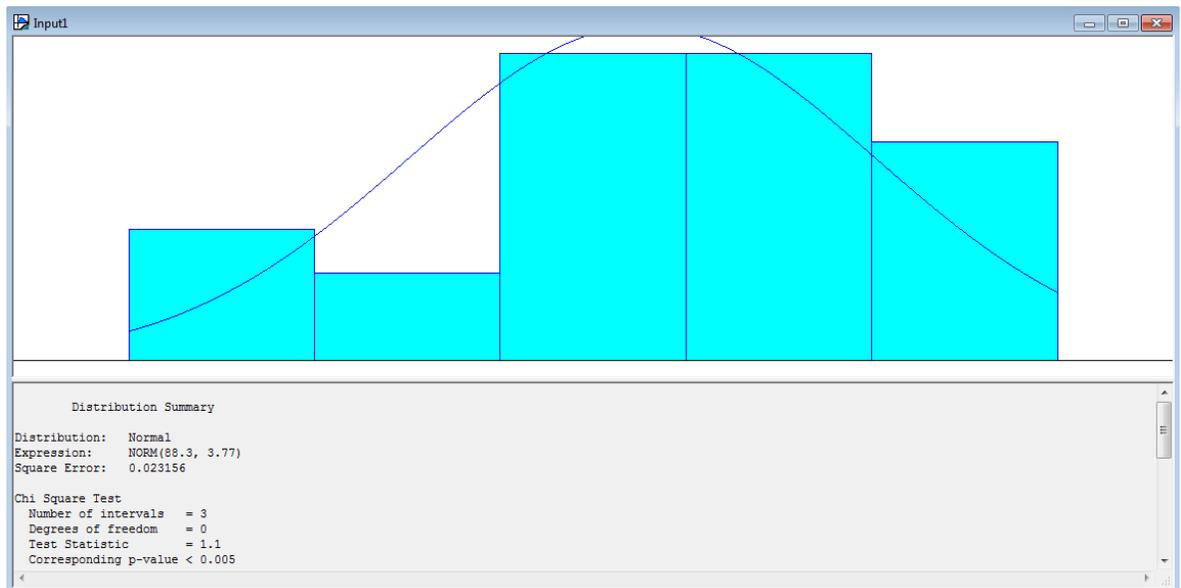
http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_STO_135_855_17764.pdf>.

Acesso em: 16 fev. 2017.

TUBINO, D. F. **Planejamento e controle da produção: teoria e pratica**. São Paulo: Atlas, 2007.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas – elimine o desperdício e crie riquezas**. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

APÊNDICE A – MODELAGEM MATEMÁTICA



Arquivo Editar Navegar Procurar Executar Janela Ajuda

minimizacao.mod 'transporte.mod

```

1 /******
2 * OPL 12.7.1.0 Model
3 * Author: Marcos André Jordão
4 * Creation Date: 20/06/2017 at 19:40:42
5 *****/
6 //Parâmetros//
7 int nmaquinas = 4;
8 range maquinas = 1..nmaquinas;
9 int nprodutos = 5;
10 range produtos = 1..nprodutos;
11 //Capacidade e Demanda//
12 float Capacidade[maquinas]=[14490, 11340, 9828, 8828];
13 float Demanda[produtos]=[20900, 3500, 4000, 1200, 2000];
14 //Produtividade por Máquina//
15 float producaohora[maquinas][produtos]=[[115,100,110,70, 60],
16                                           [90,95,67,60,59],
17                                           [0,78,58,65,63],
18                                           [0,70,60,60,50]];
19 // Variáveis de Decisão//
20 dvar float+ produzido[maquinas][produtos];
21 //Função Objetivo//
22 maximize
23 sum (u in maquinas, c in produtos) producaohora[u][c]*produzido[u][c];
24 //Restrições//
25 subject to
26 forall (u in maquinas)
27   sum (c in produtos)
28     produzido[u][c] <= (Capacidade[u]);
29 forall (c in produtos)
30   sum (u in maquinas)
31     produzido[u][c] >= Demanda[c];
32
33
34

```

Solução com objetivo 4.029.184

Nome	Valor
apaciac	[14490 11340 9828...]
demanda	[20900 3500 4000 ...]
maquina	1.4
maquina	4
iproducto	5
producao	[[115 100 110 70 60...]
produtos	1.5
vars de decis	[110490 0 4000 0 0...]
produzido	[110490 0 4000 0 0...]

utilizando CPLEX

Dados internos (7)

- Capacidade: float[maq]
- Demanda: float[produ
- maquinas: range
- nprodutos: int
- nmaquinas: int
- producaohora: float[m
- produtos: range

Variáveis de decisão (1)

- produzido: dvar float+

Objetivo: simples

Restrições (2)

- c in produtos
- u in maquinas

Propriedades

Proprie...	Valor
Dimen: 1	
Interna Verdadeiro	

Problemas Log de Script Soluções Conflitos Livres Log do mecanismo Estatísticas Gerenciador de Perfis DCOplexcloud

0 itens

Descrição	Recurso	Caminho	Local	Tipo
-----------	---------	---------	-------	------

00:00:00:14