

## Teoria das Restrições aplicada a uma empresa de moldados de EPS

### *Theory of Constraints applied to a EPS foam manufacturer*

João Paulo Rangel Wanderley de Siqueira<sup>1</sup>, Universidade Estadual de Pernambuco, Departamento de Engenharia Mecânica

Wilson Sotero Dália da Silva<sup>2</sup>, Universidade Estadual de Pernambuco, Departamento de Engenharia Mecânica

#### RESUMO

Este artigo tem como finalidade avaliar a aplicabilidade da Teoria das Restrições (*Theory of Constraints - TOC*) no âmbito logístico de sua subcategoria, o Sistema Tambor-Pulmão-Corda (TPC). Fez-se um estudo de caso da produção de moldados de Poliestireno Expandido (EPS), em uma empresa situada na região nordeste do Brasil, com enfoque nos cinco passos de focalização da *TOC*. Os dados coletados na pesquisa permitiram avaliar e comparar a demanda com o gargalo do processo e aplicar graficamente, em formato de diagrama, o funcionamento do sistema TPC. Este diagrama possibilitou a revisão no processo produtivo: identificou-se pontos ideais para a aplicação de pulmões e dimensionadas as cordas necessárias para a otimização de trabalho do sistema, para que este opere sempre sincronizado com o mínimo de inventário em processo. Além disso, o uso do sistema TPC proporcionou a capacidade crítica para criação de pontos de controle, beneficiando o seu processo de implantação do sistema. Conclui-se que, a partir da identificação do gargalo, é possível propor diversas melhorias, e qualquer ganho nele é refletido como ganho global no processo.

**Editor Responsável:** Prof.  
Dr. Hermes Moretti Ribeiro da  
Silva

Palavras-chave: EPS. Teoria das Restrições. Tambor-Pulmão-Corda.

#### ABSTRACT

*This article aims to evaluate applicability of the Theory of Constraints (TOC) within the logistics subcategory, the Drum-Buffer-Rope (DBR). A case study of the production of expanded molded polystyrene (EPS), in a company located in the northeast region of Brazil, was performed with focus on five steps of the TOC. The data collected in the survey made it possible to evaluate and compare the demand with the constraint process and apply, in a diagram format, the operation of DBR. This diagram has resulted in the review of the production process: identify ideal spots for buffers and scaled it up the rope needed for system optimization to operate synchronized with minimal in-process inventory. In addition, the use of TPC system provided the critical ability for creating control points, improving the deployment process of the system. It is concluded that once the bottleneck is defined, we can propose improvements that it can imply that will be reflected in the global process.*

*Keywords: EPS. Theory of Constraints. Drum-Buffer-Rope.*

1. Av. Caxangá, 521 – Madalena, Recife – PE 50.720-000, jprwsiqueira@gmail.com; 2. wsotero@gmail.com

SIQUEIRA, J. P. R. W.; SILVA, W. S. D. Teoria das Restrições aplicada a uma empresa de moldados de EPS. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 14, n. 4, p. 29 - 48, 2019.

DOI: 10.15675/gepros.v14i4.2280

## 1. INTRODUÇÃO

A competitividade é um fator em nível global que afeta a sobrevivência e manutenção de uma empresa no mercado. Essa disputa pode ser representada de diversas formas: por meio da qualidade do produto, velocidade e confiabilidade de entrega, aceitação no mercado, dentre outros (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2007). A indústria de produção de moldados de Poliestireno Expandido (EPS) é considerada uma das mais versáteis, produzindo diversos tipos de produtos manufaturados. A aplicabilidade do polímero, na forma de EPS, consiste na produção de caixas térmicas, embalagens para produtos eletrônicos e embalagens para produtos alimentícios (MANAS; K. ROY, 2008). Na construção civil o seu uso é vasto, destacando-se a sua utilização em forros para lajes e placas de isolamento térmico para telhados (MANAS; K. ROY, 2008; BRITTON, 2009). Dada a variedade de produtos, e por ser uma indústria considerada economicamente estável e com um grau de inovação constante (BRITTON, 2009), torna-se necessária a aplicação de uma técnica de gestão da produção moderna com intuito de atender as demandas existentes.

A Teoria das Restrições, ou *Theory of Constraints (TOC)*, surgiu a partir da criação do software de produção *Optimized Production Technology (OPT)*. Eliyahu M. Goldratt, Doutor em física e criador da teoria, a desenvolveu com intuito de aplicá-la a um sistema de programação de produção para gerenciar uma fábrica que produzia gaiolas para aves.

Cox e Schleier (2010) sugerem que a *TOC*, comparando-a com *Just-in-Time (JIT)*, *Lean Production* e *Total Quality Management (TQM)*, pode ser considerada, na literatura científica, a menos convencional entre as metodologias de gestão da produção, porém diversos resultados positivos já evidenciaram sua eficiência e aplicabilidade. Hoje, a *TOC* se ramifica em inúmeras áreas de atuação relacionadas à problemas comuns a gestão (MAUERGAUZ, 2016). Esse artigo, fazendo uso do funcionamento básico da abordagem da *TOC* no processo produtivo e planejamento de inventário - também conhecido como a metodologia *Drum-Buffer-Rope (DBR)* ou Tambor-Pulmão-Corda (TPC) -, pretendeu empregar esta teoria por meio de um estudo de caso.

Na indústria de moldados de EPS, uma vez que ela supre demandas domésticas (caixa térmicas) e industriais (processamento de pescados, construção civil entre outras), o consumidor final pode assumir diferentes distâncias em relação à cadeia de suprimentos.

Assim, tem-se que o setor mais próximo ao consumidor final está, nesse caso, nas caixas térmicas para uso doméstico. As demandas podem ser influenciadas por diversos fatores, tais como estações do ano e datas comemorativas, dessa forma, é possível determinar, anualmente, períodos de demandas claras, também conhecidas como *Pull Seasonality* (COX; SCHLEIER, 2010). Portanto, este artigo consiste em um estudo de caso analisando a aplicação da *TOC* numa empresa moldadora de EPS na região nordeste do Brasil, direcionada ao setor de produção de caixas térmicas.

Levando em consideração as particularidades do processo produtivo de uma fábrica de moldados de EPS, junto à simplicidade da aplicação da *TOC*, em específico o sistema TPC, a importância deste trabalho é evidenciada na aplicação da teoria a qual possui um grande histórico de casos de sucesso após sua implantação (COX; SCHLEIER, 2010). Além disso, será apresentada a descrição do processo produtivo de moldados de EPS, que servirá de guia inicial para avaliação do seu funcionamento na perspectiva de gestão da produção.

## 1. REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.1 O EPS e O Processo De Produção De Moldados – Linha De Produção

A matéria prima utilizada na Indústria de moldados de EPS é a resina de Poliestireno Expansível, a qual pode ser obtida principalmente a partir de dois processos básicos (SCHEIRS; PRIDDY, 2003):

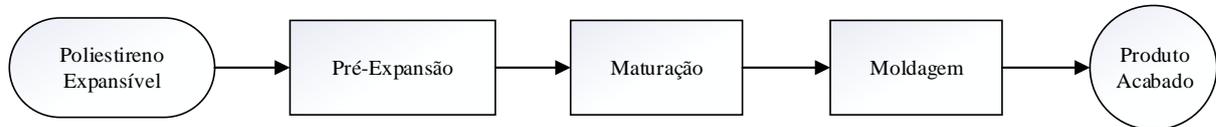
a) Polimerização do estireno ( $C_8H_7$ ) em suspensão em grânulos esféricos na presença de um agente de expansão;

b) Incorporação de um agente de expansão durante a extrusão do poliestireno.

O processo padrão na indústria é que essa matéria prima seja preparada e enviada para Indústria de Moldados de EPS como poliestireno expansível, onde será transformado em poliestireno expandido e finalmente se tornará a espuma de EPS (SCHEIRS; PRIDDY, 2003).

Uma vez a matéria prima estando na fábrica, para que ela se transforme em produto acabado é necessário passar por mais três etapas principais: a pré-expansão, maturação e moldagem do poliestireno expandido (Figura 1) (EAVES, 2004).

Figura 1 - Diagrama representando as três etapas do processamento da matéria prima do EPS.



Fonte: Adaptado de Eaves (2004).

### 1.1.1 Pré-expansão

Para que o poliestireno expansível seja expandido é necessário que ele seja aquecido. O método mais comum de aquecimento é utilizando o vapor (BUCZKOWSKA; PACYNYIAK, 2015) em que, segundo Eaves (2004), a densidade do material diminui de aproximadamente  $630 \text{ kg/m}^3$  para valores entre  $10$  a  $35 \text{ kg/m}^3$ . O pré-expansor (PE) é o equipamento que faz essa transformação. Nele, os grânulos são aquecidos pelo vapor para temperaturas acima da temperatura de transição vítrea, que suavemente fervem o agente expansor, fazendo com que todo material se expanda uniformemente (BRITTON, 2009). Durante o processo de pré-expansão, a matéria prima pode expandir em pelo menos 40 a 80 vezes o seu tamanho original.

Quanto ao PE, existem dois tipos: o PE de batelada e o PE contínuo. O PE contínuo, como o nome já referencia, funciona através de um processo contínuo de expansão que garante maiores vazões de pré-expansão com menor consumo de vapor (SCHEIRS; PRIDDY, 2003), porém, o seu controle de densidade é baixo, não sendo recomendado para menores densidades (EAVES, 2004). O PE de batelada executa o processo de pré-expansão de forma que a quantidade de matéria prima seja pré-estabelecida (antes do início do processo). Em um sistema fechado e pressurizado, a pré-expansão de batelada garante maiores controles de densidade e fará com que o processo utilize mais vapor (SCHEIRS; PRIDDY, 2003) e, da mesma forma que o PE contínuo, aquece o agente expansor, fazendo com que a matéria prima se expanda. As principais variáveis para que se tenham densidades finais desejadas são a temperatura do vapor, quantidade de ar diluída nesse vapor e o tempo de pré-expansão (BRITTON, 2009).

### 1.1.2 Maturação

Uma vez terminado o processo de pré-expansão, é dado prosseguimento para a maturação, onde a matéria prima é dirigida para silos de estocagem para que o material arrefeça e mature (BRITTON, 2009). Durante o arrefecimento, o agente de expansão residual

GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 14, nº 4, p. 29 - 48, 2019.

perde o volume e condensa, porém, as paredes da matéria prima já estão rígidas o suficiente para suportar essas pressões negativas (EAVES, 2004). Com o passar do tempo, o ar circulante entra nos grânulos até que ele se torne estável o suficiente para dar prosseguimento ao próximo passo, a moldagem.

Quanto ao tempo de maturação, dependendo da densidade da matéria prima e da finalidade do produto, existem horas recomendadas de maturação definidas pelos fabricantes. Por exemplo, o manual da Styropor® (2011) recomenda, no mínimo, 4 horas de maturação para produtos finais de moldagem com paredes finas e alta produtividade com bom acabamento superficial. O processo de pré-expansão pode ser refeito na matéria prima várias vezes depois de respeitado os tempos de maturação (SCHEIRS; PRIDDY, 2003), considerando as recomendações dos fabricantes.

### 1.1.3 Moldagem

Após o repouso, o EPS (agora chamado Poliestireno Expandido) está pronto para a moldagem. A moldagem é feita na máquina moldadora de EPS, que o submete a vapor para que, dessa vez, os grânulos de EPS sejam soldados uns aos outros. Esse processo também é chamado de sinterização (LEE, 2010; RAPS *et al.*, 2015), em que o resultado final é uma espuma de dimensões homogêneas de EPS.

Os moldes utilizados são usualmente feitos de alumínio (BUCZKOWSKA; PACYNIK, 2015) e o processo de moldagem todo acontece com utilização de água, tanto para resfriamento quanto para aquecimento com o vapor. Este processo se dá a partir de 5 passos padrões: o fechamento do molde, o preenchimento do molde com os grânulos espumosos, a soldagem ou sinterização dos grânulos, o resfriamento do molde e, por fim, a ejeção da parte moldada (RAPS *et al.*, 2015). Todo o processo é controlado e acionado por válvulas eletropneumáticas. Vale ressaltar que, para que se tenha alta produtividade, se faz necessária uma composição de caldeira(s) - visto que o processo de moldagem utiliza primordialmente vapor - e compressores pneumáticos, usados para acionamento de válvulas e controle de pré-expansão.

## 1.2 A Teoria Das Restrições, TPC e sua forma simplificada

A TOC se fundamenta na premissa: “a meta de uma empresa é ganhar dinheiro hoje e no futuro”, e esta deve ser lembrada a qualquer instante durante as tomadas de decisões em

GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 14, nº 4, p. 29 - 48, 2019.

uma empresa. Dessa forma o autor da teoria reinterpreta a contabilidade de custos para contabilidade de ganhos. Constata-se, ainda, que toda empresa tem uma restrição - física ou política - que consiste em tudo aquilo que impede que a empresa atinja a meta (COX; SCHLEIER, 2010). Além disso, a *TOC* interpreta o sistema de forma completa e enfatiza a interdependência entre os eventos. Esses eventos podem ser interpretados como uma corrente e, como nas próprias palavras de Goldratt e Cox (1984), “uma corrente é tão forte quanto o seu elo mais fraco” (COX; SCHLEIER, 2010). Nesse contexto, ele conjecturou 5 Passos de Focalização ou *Five Focus Steps (5FS)*, os quais devem ser seguidos para que o elo mais fraco seja trabalhado a favor de todo o processo (COX; SCHLEIER, 2010; MAUERGAUZ, 2016). Os *5FS* são:

- 1° passo: Identificar a restrição do sistema,
- 2° passo: Decidir como explorar a restrição do sistema,
- 3° passo: Subordinar todo o sistema à decisão anterior,
- 4° passo: Elevar a restrição do sistema
- 5° Passo: Se em um passo anterior uma restrição for quebrada, volte para o passo 1.

A partir da aplicação da *5FS* na *TOC*, com o objetivo de sincronizar o fluxo dos produtos no meio fabril até o mercado, desenvolveu-se o processo chamado TPC. Esse método é uma combinação entre a produção puxada (*pull*) e a produção empurrada (*push*) (MAUERGAUZ, 2016). No TPC, a restrição também pode ser chamada de gargalo, e deve ser definida dentro do processo, neste caso, fabril.

Ao analisar cada situação em específico, determina-se o gargalo do sistema, nomeado Recurso de Capacidade Restrita (RCR) ou *Capacity Constraint Resource (CCR)* (UMBLE; SRIKANTH, 1990). O sistema TPC é dividido em 3 elementos:

**a)** Tambor - dita o ritmo da produção. Em um ambiente fabril, como os processos produtivos são interdependentes, o ritmo de produção é definido a partir da identificação da etapa de menor capacidade produtiva. Ou seja: todo planejamento de produção é feito a partir do gargalo (MAUERGAUZ, 2016);

**b)** Pulmão - é o tempo excedente calculado com os objetivos de proteger pontos críticos do sistema e manter o gargalo sempre em produção, amenizando os efeitos de possíveis imprevistos (flutuações estatísticas). Estas flutuações são inerentes a qualquer processo produtivo e podem prejudicar o andamento da produção. Existem 3 tipos de pulmões: os pulmões de restrição, os pulmões de montagem - que antecipam a possibilidade

de que o processo de montagem se torne um gargalo – e, por fim, o pulmão de expedição - que protege a expedição de possíveis interrupções no processo caso ocorra após a restrição (UMBLE; SRIKANTH, 1990);

Quanto ao dimensionamento do pulmão (*buffer sizing*), Tukel *et al.* (2006) descreve vários métodos diferentes para sua definição, desde o método inicialmente desenvolvido por Goldratt e Cox (1984) à métodos em que é considerado as flutuações estatísticas como no livro de Newbold (1998). No estudo de caso elaborado por Wu *et al.* (2010), por exemplo, é utilizado o método proposto por Schragenheim e Ronen (1990): o pulmão deve ser três vezes o tempo de processamento médio de um lote de todas as máquinas precedendo o RCR.

c) Corda – é responsável por sincronizar a chegada de materiais no pulmão e na liberação de matéria prima no sistema (FAGUNDES; AUGUSTO; MARINS, 2010), além disso, auxilia na identificação e rastreamento de problemas no processo. Ao fazer comunicação entre o tambor, estoque e expedição, este elemento é o fator principal que determina a característica de combinação entre produção puxada e empurrada (MAUERGAUZ, 2016).

O sistema TPC, junto com a *TOC*, evoluiu de forma que fosse necessária elaboração de uma versão simplificada sua, proposta por Schragenheim e Dettmer (2001). O TPC simplificado ou Simplified DBR (S-DBR) é idealizado com intuito ser aplicado com maior adaptabilidade aos sistemas MRP (COX; SCHLEIER, 2010), em que propõe a focalização na restrição de mercado pois a considera predominante sob as restrições internas da organização (SCHRAGENHEIM; DETTMER, 2000). Castro (2016) afirma que a *S-DBR* pôr ter uma visão mais ampla da demanda, esta permite a integração e coordenação das áreas de manufatura, *marketing*, vendas, compras e finanças. O emprego da metodologia varia conforme o gerenciamento de demanda de produção, sendo elas: *Make-to-stock (MTS)/Make-to-availability (MTA)* e *Make-to-order (MTO)* (COX; SCHLEIER, 2010). Hopp e Spearman (2004) oferecem uma discussão mais aprofundada sobre os conceitos de produção empurrada (*push*) e a puxada (*pull*) e sua relação com: *MTS*, *MTO*, *MRP*, *Constant Work in Process (CONWIP)* e *kanban*.

Além da necessidade da categorização do tipo gerenciamento de demanda, Cox e Schleier (2010) utilizam os termos *Pull Seasonality* e *Push Seasonality* para mudanças bruscas de consumo. Esses termos auxiliam na padronização e previsão da produção de uma organização.

a) *Pull Seasonality*: definida como mudanças de padrão de consumo em certo tipo de produto baseado em estações, feriados ou eventos que acontecem em determinadas regiões, como exemplo, *Oktoberfest*, carnaval, entre outros.

b) *Push Seasonality*: quando uma organização toma ações que acabam criando picos de demanda, por exemplo, liquidação de estoque, remarcações de preço e etc.

## 2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo de caso pode ser definido como “uma análise empírica da investigação de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real” (YIN, 2001). A escolha deste método se deu devido a sua característica pragmática. Dentro do contexto de estudo de caso a delimitação metodológica enfatizou a pesquisa exploratória e uma pesquisa bibliográfica do processo produtivo e da teoria aplicada.

Para uma melhor abordagem do tema, executou-se o estudo nas seguintes etapas:

a) Definição do objeto de estudo: seleção de processo de otimização da produção (*TOC*) e definição de empresa e produto para a sua aplicação;

b) Procedimento para coleta de dados: visitas à fábrica para o acompanhamento do processo produtivo e obtenção de dados, consultando todos os setores envolvidos no processo levando em consideração as informações necessárias para aplicação da *TOC* voltada para o sistema TPC;

c) Procedimento para análise dos dados: Mapeamento e comparação do processo produtivo com os métodos descritos presentes na literatura científica. Com relação aos dados adquiridos da fábrica, fez-se necessário o uso de estatística descritiva para sua interpretação (por exemplo, medidas de tendência central, medidas de dispersão e construção de gráficos do tipo: barra, histogramas e *boxplot*). A partir da teoria estudada, realizou-se: a avaliação de demanda do produto; o diagrama de fluxo do produto (UMBLE; SRIKANTH, 1990); aplicação dos *5FS* (voltados para a esquematização do sistema TPC) e questionamento das hipóteses levantadas.

### 2.1 Objeto de estudo

O objeto de estudo deste artigo consiste na avaliação da aplicabilidade da *TOC* numa empresa de moldados de EPS localizada no nordeste do Brasil. O processo produtivo da fábrica, a ser aplicado o método, foi determinado a partir de entrevista aberta com o gerente

GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 14, nº 4, p. 29 - 48, 2019.

industrial da fábrica. O gerente, após contextualizado quanto ao objetivo e resultados da *TOC*, especificou um produto a ser investigado pelo frequente atraso na entrega. Esse produto é uma caixa de acondicionamento térmico, que foi avaliada na perspectiva da aplicação do sistema TPC. Para direcionamento de aquisição de dados duas hipóteses sobre o produto a ser avaliado foram levantadas:

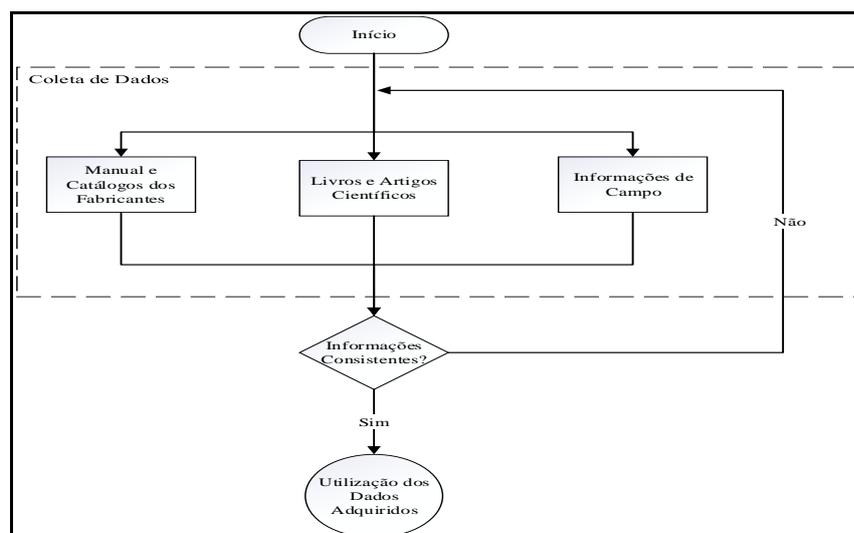
1ª hipótese: Os prazos de entrega associados às caixas térmicas serem motivados pela influência da *Pull Seasonality* - demandas definidas por períodos específicos, como o início da estação seca na região.

2ª hipótese: A fábrica está subdimensionada para a demanda do mercado por causa do RCR e falta de um planejamento de produção eficiente.

## 2.2 Procedimentos de coleta e análise de dados

Este procedimento de coleta de dados foi diagramado com objetivo de compará-los com a literatura científica, tais como livros, artigos ou catálogo de fabricantes (Figura 2). Elaborou-se o levantamento das informações a partir das seguintes finalidades: avaliar a demanda do produto, diagramar o fluxo do produto, definir os meses de um possível período de *Pull seasonality* e verificar particularidades como tempos de *setup*, horários de turnos e dias úteis do mês.

Figura 2 - Fluxograma de Coleta e Análise de Dados



Fonte: Elaborado pelos autores. (2017).

Os dados da demanda do produto escolhido coletados no *Enterprise Resource Planning (ERP)* da fábrica estão alterados por questões de confidencialidade, de forma que não comprometa sua consistência.

Seguindo a ordem do diagrama do processo de moldagem, na primeira etapa verificou-se a capacidade produtiva dos pré-expansores. Na segunda etapa, a maturação, foi utilizado o tempo recomendado de cura do fabricante e fabricantes similares, além de compará-los com os tempos de maturação definidos pelo controle de qualidade utilizados pela fábrica.

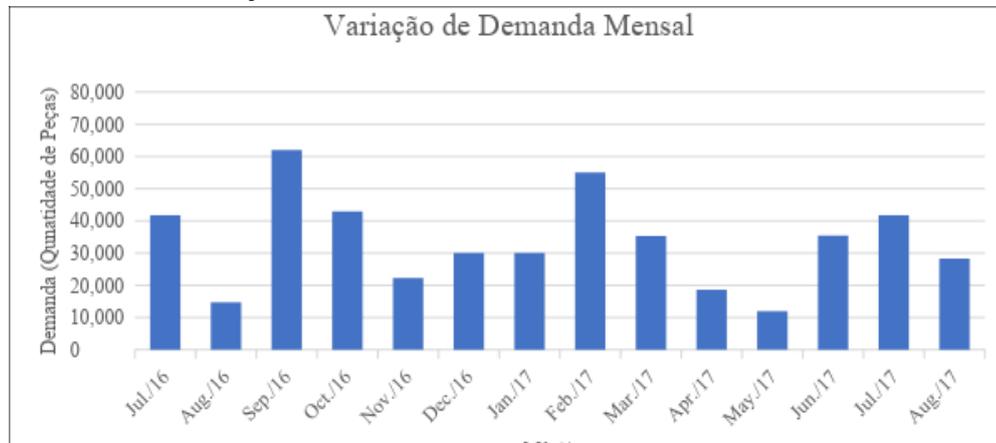
Na etapa de moldagem, constatou-se que as máquinas têm um Computador Lógico Programável (CLP), onde é indicado, na Interface Homem-Máquina (IHM), o “tempo de ciclo” em segundos, eles são fornecidos pela equipe de automação que os aferem hora-a-hora. Baseados nesses dados, junto com as características do molde do produto, utilizando de ferramentas estatísticas, determinou-se a capacidade de produção (peças/h).

A partir do banco de dados dos boletins da produção gerado pelo Programa de Controle da Produção (PCP), obteve-se a informação da capacidade de embalagem dos operadores das máquinas. Foi observado que o tempo de *setup* das máquinas de moldagem são relevantes. O controle do tempo de troca é feito pelo Programa de Controle da Manutenção (PCM), a partir do acesso ao seu banco de dados, determinou-se os tempos de *setup* para o molde estudado. Além disso, também foram coletadas as informações do Departamento Pessoal quanto às horas de turno, intervalos de almoço da fábrica e dias úteis trabalhados nos meses estudados. E, por fim, foi feito o levantamento dos períodos das estações secas e quentes do ano no Nordeste.

### 3. RESULTADOS

As variações de demanda estão expostas no modelo de gráfico em barras para melhor interpretação dos resultados (Figura 3). A média de demanda do produto é de 33.658 produtos ao mês, com um desvio padrão de 14.472, resultando em 43% de coeficiente de variância.

Figura 3 - Gráfico de variação de Demanda

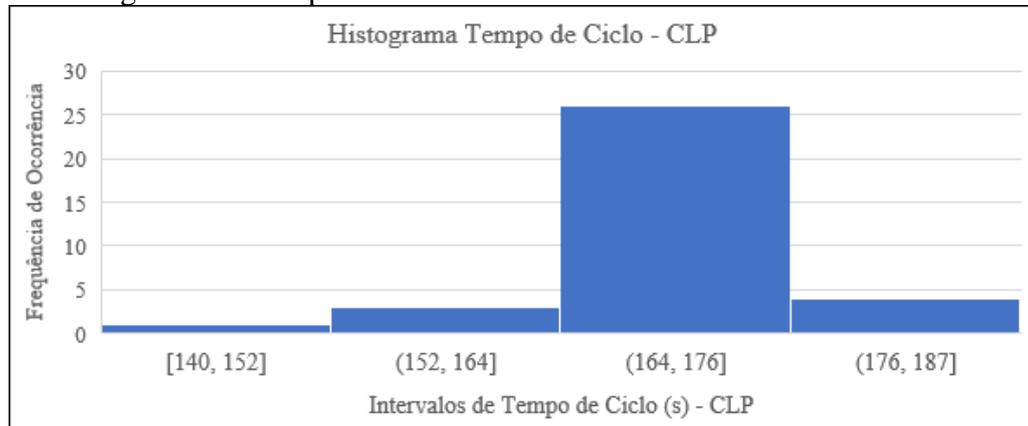


Fonte: Elaborado pelos autores. (2017).

A partir das informações colhidas em campo, constatou-se que para fabricar as caixas térmicas são necessários dois pré-expansores, sendo ambos de batelada. A matéria prima utilizada para a parte da tampa é diferente da matéria prima da caixa, pois ambas têm colorações diferentes. Cada PE tem suas capacidades produtivas diferentes, sendo elas 294 kg/h para o PE com a câmara de expansão maior - utilizados para as caixas - e 118 kg/h para o PE com a câmara de expansão menor - utilizados para as tampas. Na etapa de maturação, para ambos os tipos de matéria prima, o tempo recomendado é de 4 horas, segundo o fabricante BASF Stryopor®.

Na máquina moldadora de EPS há 2 silos pressurizados que atendem partes diferentes do molde: uma metade para as caixas e a outra para as tampas. Dessa forma, pelos ciclos do CLP das máquinas, o tempo médio de ciclo é de 170,3 segundos com desvio padrão de 3,96 segundos. A máquina moldadora tem a capacidade produtiva de 148 peças/h, para se obter este resultado foram coletadas 34 amostras para análise que foram expostas em um histograma para melhor entendimento (Figura 4).

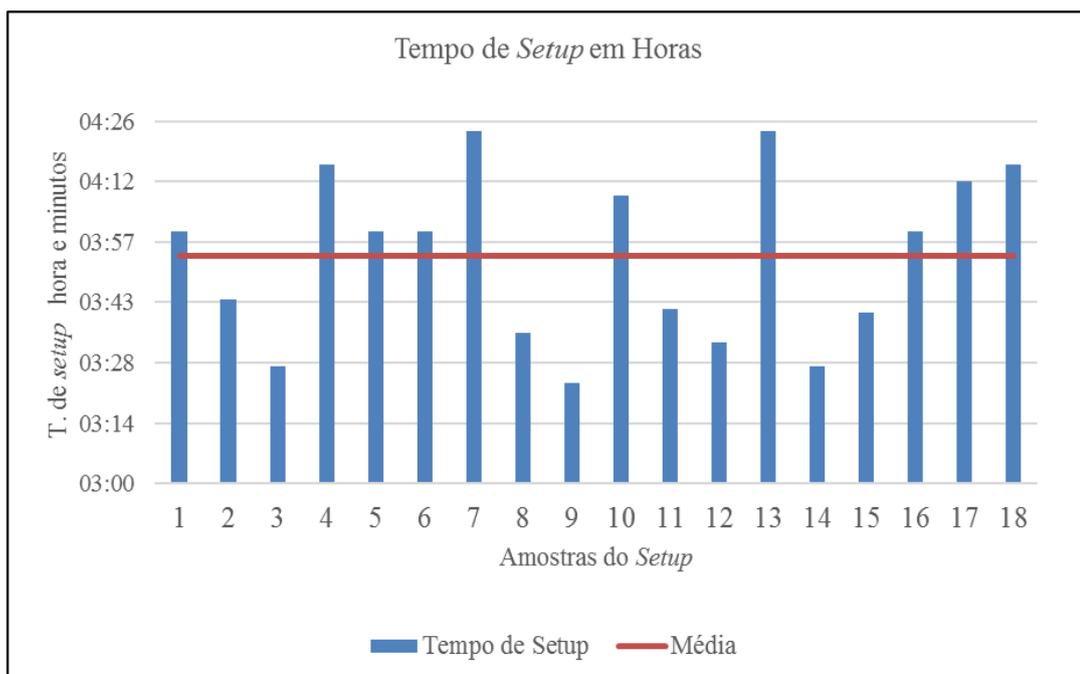
Figura 4 - Histograma do Tempo de Ciclo - CLP



Fonte: Elaborado pelos autores. (2017).

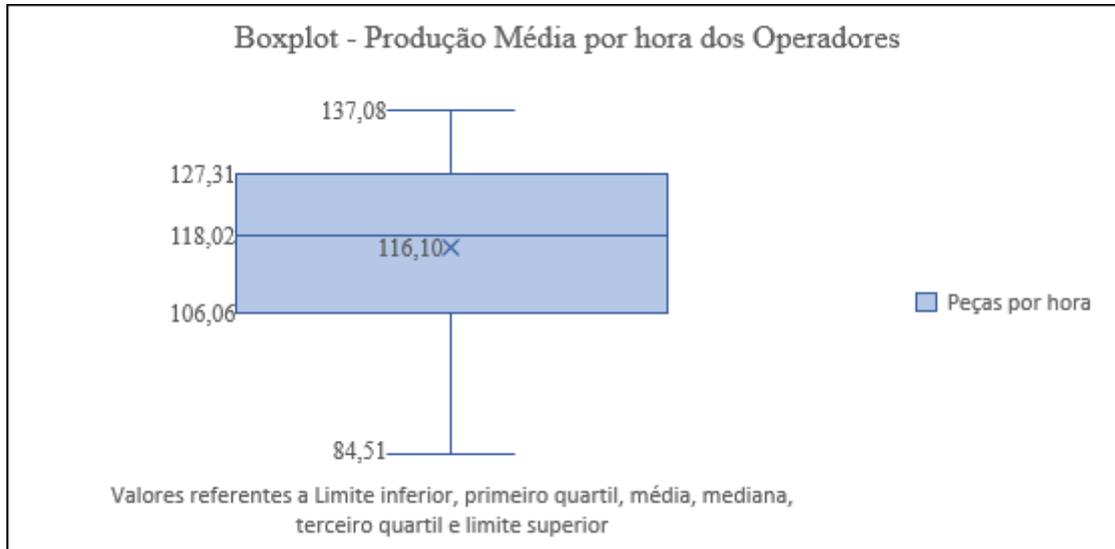
Em relação ao tempo de *setup* do molde a Figura 5 demonstra os dados obtidos, tendo a média de 3 horas e 54 minutos, desvio padrão de 20 minutos, em um total de 18 amostras. A partir dos boletins de produção, é possível observar que a média de embalagem dos produtos é 116,10 peças/h com desvio padrão de 12,03 peças/h. Dada a heterogeneidade dos dados, foi utilizado um gráfico *bloxplot* (Figura 6) para sua melhor representação.

Figura 5 – Gráfico de Barras representando os tempos de *Setup*



Fonte: Elaborado pelos autores. (2017).

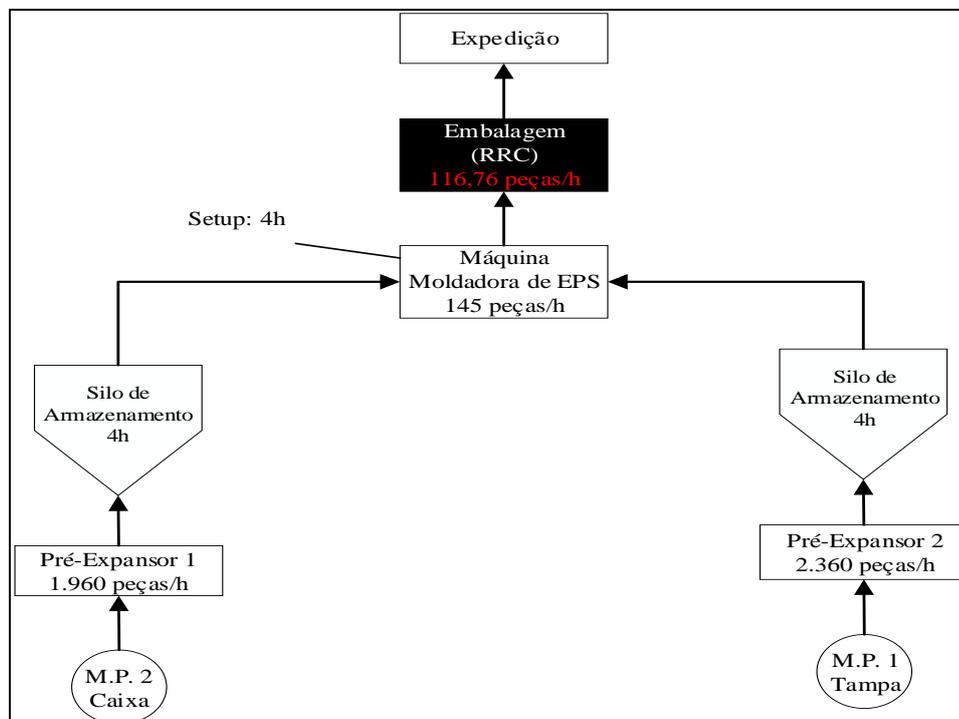
Figura 6 - *Boxplot* - Produção Média dos Operadores na embalagem



Fonte: Elaborado pelos autores. (2017).

As informações compiladas resultaram no diagrama do fluxo do produto (Figura 7). Ao aplicar os *5FS*, a embalagem foi identificada como o gargalo (RRC) do processo.

Figura 7 - Diagrama de fluxo do produto



Fonte: Elaborado pelos autores. (2017).

Os dados de demanda, horas por turno, quantidade de turnos no mês, dias úteis e capacidade produtiva do gargalo resultaram na Tabela 1., evidenciando quantas horas do gargalo devem ser utilizadas por dia para atender as demandas, considerando que os pedidos ocorressem no início do mês e tivessem até o fim dele para que o prazo fosse cumprido (*lead time* de 30 dias).

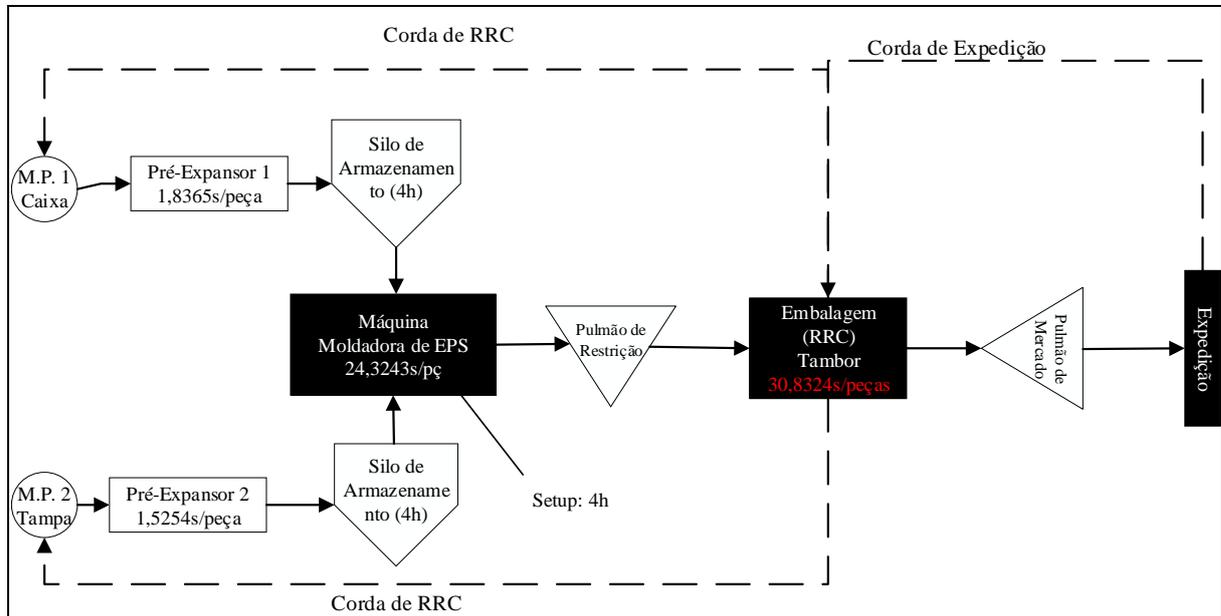
Tabela 1 – Comparação entre horas disponíveis no gargalo e as horas necessárias no gargalo por dia

Mês/ano	Dias úteis (dias)	Turnos	Horas trab. (h)	Horas disp. (h)	Demanda (peças)	Hr. disp. gargalo/dia (h)	Hr. nec. gargalo/dia	Taxa ult. gargalo
jul./16	27	3	6	486	41.700	18	13 h 12 min	73%
ago./16	27	2	6	324	14.696	12	4 h 42 min	39%
set./16	25	3	6	450	62.034	18	21 h 18 min	118%
out./16	25	3	6	450	42.943	18	14 h 42 min	82%
nov./16	24	2	6	288	22.268	12	7 h 54 min	66%
dez./16	26	2	6	312	30.011	12	9 h 9 min	82%
jan./17	26	2	6	312	30.011	12	9 h 9 min	82%
fev./17	22	3	6	396	54.978	18	21 h 24min	119%
mar./17	27	2	6	324	35.354	12	11 h 12 min	93%
abr./17	24	2	6	288	18.614	12	6 h 36 min	55%
mai./17	26	2	6	312	11.958	12	3 h 54 min	33%
jun./17	25	3	6	450	35.370	18	12 h 6 min	67%
jul./17	26	3	6	468	41.700	18	13 h 42 min	76%
ago./17	27	2	6	324	28.313	12	9h	75%

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Ao aplicar os *5FS* na perspectiva da TPC, o resultado proporcionou a elaboração de um esboço inicial de como seria a aplicação do sistema para o produto estudado (Figura 8).

Figura 8 - Esquema sistema TPC



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

#### 4. DISCUSSÕES

O sistema TPC convencional foi utilizado pois a demanda do produto em relação à capacidade do gargalo está muito superior em diversos meses e, como a fábrica não utiliza o método TPC, há bastante oportunidades aumento de capacidade. A aplicação da *TOC* no contexto TPC proporcionou a constatação de que o gargalo do sistema é a embalagem. Sendo o gargalo o RCR, identificou-se o tambor da linha de produção, ou seja, quem ditará o ritmo da produção - 116,76 peças/h. Isso significa que a produção terá aproximadamente essa capacidade produtiva para tal produto, de modo que qualquer problema no RCR fará com que o mercado receba menos produtos. Dessa forma, para que a programação da produção seja fidedigna aos prazos acordados de produção, faz-se necessária a inclusão de pulmões no sistema, possibilitando assim a absorção das possíveis deturpações no processo produtivo. Com efeito, foram diagramados 02 pulmões (Figura 8): um pulmão para o gargalo, e um pulmão para a expedição.

As cordas servem como controle de inventário. Para uma produção com o mínimo de material em processo e com intuito de diminuir as filas de produtos posteriormente, é necessário colocar 3 cordas no sistema. A corda principal faz a comunicação entre o gargalo e matéria prima - tanto para caixa, quanto para a tampa - garantindo que só será emitida a ordem de fabricação uma vez que o gargalo não esteja sobrecarregado. Da mesma forma

acontece com a corda de montagem, para evitar a criação de filas para a montagem antes do início processo de moldagem. A corda da expedição tem a finalidade ilustrativa com intuito de demonstrar a interligação de todo o processo (MAUERGAUZ, 2016).

Através de uma avaliação dos picos de demanda, nos 14 meses levantados, foi verificada uma variação sazonal. Os maiores pedidos foram constatados nos meses de setembro e fevereiro, que coincidem com os meses de início e término da estação seca/verão no nordeste brasileiro. Compõe-se assim evidências de *Pull Seasonality* à favor da confirmação da primeira hipótese. Como consequência, a fábrica precisou ativar turnos e horas extras para atender essa demanda. Além disso, o coeficiente de variância em 43% demonstra grande variabilidade ao longo dos meses. Isso mostra que a falta de um planejamento da produção adequado pode resultar em decisões gerenciais equivocadas, principalmente no período entre o mês agosto de 2016, e o mês de setembro de 2016, que tiveram 14.696 e 62.034 produtos de demanda, respectivamente.

Com relação à segunda hipótese, nota-se que é difícil obter conclusões definitivas ao determinar se a fábrica estaria subdimensionada para aquele produto. Nos 14 meses analisados, constatou-se que, se o gargalo não ficasse ocioso por muito tempo, em 8 desses meses (57%) seria suprida a demanda com apenas dois turnos. Isso porque, na maioria dos meses, há uma taxa muito alta de utilização diária do gargalo, uma vez que ainda não foi implantado o sistema TPC na linha de produção da fábrica. Por questões de programação da produção, é provável que as flutuações estatísticas que podem ocorrer no processo reflitam facilmente em perda nos prazos acordados, acarretando custos com horas extras e ativação de turnos repentinamente (COX; SCHLEIER, 2010).

Complementando quanto a segunda hipótese, é importante ressaltar que o gargalo está sobrecarregado, pois, nos meses de maior demanda (setembro de 2016 e fevereiro de 2017) o estudo demonstrou que, mesmo com 3 turnos, ainda seria necessário horas excedentes de produção diária para que o prazo de entrega fosse cumprido. Isso é problemático, uma vez que se aproxima cada vez mais de 24 horas necessárias no gargalo por dia.

Outro fator que se deve levar em consideração são os tempos de *setup* e os tempos de maturação que, por ocuparem cerca de 4 horas cada um, fazem com que, dependendo da demanda, seja necessário mais tempo em maturação e de *setup* do que em outros processos de transformação do produto final.

Junto à implantação de um sistema TPC, existem algumas ações comuns que podem ser feitas para que o gargalo aumente sua capacidade produtiva, sem a necessidade de investir em maquinários ou contratação imediata de mão de obra (UMBLE; SRIKANTH, 1990). O intuito principal dessas ações é utilizar o gargalo ao máximo. A *TOC* utiliza de indicadores próprios para tomadas de decisões, esses indicadores são criados na perspectiva da contabilidade de ganhos como, por exemplo, o indicador de lucro por hora disponível no gargalo, assim, tem-se a perspectiva de lucros a cada hora que o gargalo esteve disponível para produção, direcionando a gerência a tomar decisões adequadas (WOEPPEL, 2001).

Segundo Umble e Srikanth (1990), antes que seja definido o mercado como *RCC* deve-se: eliminar tempo ocioso de gargalo, por meio de revezamento entre a troca de turno dos operadores; diminuir a taxa de absenteísmo no posto de trabalho; ter operadores flexíveis quanto ao posto de trabalho caso seja necessário a falta de algum deles; revisão do posto de trabalho com aplicação de cronoanálise para facilitar o setor de embalagem na sua atuação; checar os indicadores de manutenção para melhoria nos tempos de *setup* e menor ociosidade por conta de paradas de manutenção. Essas pequenas mudanças aumentariam a capacidade de produção da fábrica, fazendo com que os problemas de prazo mencionados pelo gerente da fábrica pudessem ser extintos ou ao menos amenizados. Então, é possível afirmar que a fábrica tem capacidade de suprir a demanda, uma vez que se prepare para os períodos de alta, com estoques bem dimensionados, focalizando em tempos de resposta quanto ativação de um possível terceiro turno ou horas extras bem estimadas e boas práticas para melhoria do processo.

## 5. CONCLUSÕES

Quanto à literatura científica da perspectiva de linha de produção de moldados EPS, constatou-se que essa é relativamente escassa, porém, com as informações obtidas nos livros e artigos científicos, é possível compreender e comparar de forma crítica o objeto de estudo. A revisão bibliográfica do processo se demonstrou imprescindível para que se tenha segurança na aplicação da *TOC* sem que seja proposto algo contraproducente.

Com relação a *TOC*, o modelo de estudo de caso se mostrou bastante eficiente para o direcionamento da aquisição de dados e para a sua interpretação. Além disso, a teoria auxiliou na confirmação das hipóteses apresentadas de forma concisa. O sistema TPC também demonstrou ser uma ótima ferramenta para determinação de pontos de controle de inventário

e pontos de possíveis melhorias (como o por exemplo o gargalo), auxiliando principalmente atuação das equipes de manutenção, produção e qualidade, permitindo visão integrada do processo interno de produção.

A *TOC* tem um vasto acervo científico, fazendo com que as melhores práticas sejam facilmente acessíveis, permitindo proposições de melhorias sem que ela esteja totalmente implantada, demonstrando assim versatilidade na sua aplicação. Podemos notar também que existe material científico com alto grau de profundidade técnica, estudos de caso permitem exemplificações desses temas, facilitando assim o seu entendimento.

Infelizmente esse estudo de caso oferece a perspectiva para apenas um produto, o que sugere oportunidades para reavaliação do estudo de caso com intuito da simulação e implantação de um Plano Mestre de Produção (PMP) ou também chamado *Master Planning Schedule (MPS)*. Vale ressaltar, que, este produto se encontra em determinado local na cadeia de suprimentos, considerar que existe outros produtos em localizações diferentes, sugerem um estudo aprofundado na sua programação de produção. A *S-DBR* nesse momento deve ser posta em perspectiva, visto que, o processo será visto efetivamente de “ponta-a-ponta”.

## Referências

BRITTON, R. **Update on Mouldable Particle Foam Technology Update on Mouldable Technology**. 1ª ed. Shawbury: iSmithers, 2009.

BUCZKOWSKA, K.; PACYNIK, T. The aging time effects of the pre-expanded polystyrene on the pattern's mechanical properties. **Archives of Foundry Engineering**, v. 15, n. 1, p. 131–137, 2015.

CASTRO, R. F. **Avaliação Do Sistema Simplified Drum- Avaliação Do Sistema Simplified Drum-**. 2016. 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, São Paulo, 2016.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I.; CAON, M. **Planejamento, programação e controle da produção**. 5ª ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2007.

COX, J. F.; SCHLEIER, J. G. **Theory of Constraints Handbook**. 1ª ed. [s.l.] McGrawHill, 2010.

EAVES, D. **Handbook of Polymer Foams**. Shawbury, UK: Rapra Technology Limited, 2004.

FAGUNDES, R.; AUGUSTO, F.; MARINS, S. A Real Application of the Theory of Constraints to Supply Chain Management in Brazil. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 7, n. 2, p. 81–100, 2010.

GEPROS. *Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, v. 14, nº 4, p. 29 - 48, 2019.

GOLDRATT, E.; COX, J. **The goal: a process of ongoing improvement.** [s.l.] Routledge, 1984. v. 1

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. To Pull or Not to Pull: What Is the Question? **Manufacturing & Service Operations Management**, v. 6, n. 2, p. 133–148, 2004.

LEE, E. K. Novel Manufacturing Processes for Polymer Bead Foams. **PhD thesis, University of Toronto**, p. 215, 2010.

MANAS, C.; K. ROY, S. **Industrial Polymers, Specialty Polymers, and Their Applications.** Florida, USA: CRC Press, v.1, 2008.

MAUERGAUZ, Y. **Advanced Planning and Scheduling in Manufacturing and Supply Chains.** Moscow, Russia: Springer International Publishing, 2016.

NEWBOLD, R. C. **Project management in the fast lane: applying the theory of constraints.** [s.l.] CRC Press, v.1, 1998.

RAPS, D.; HOSSIENY, N.; PARK, C. B.; ALTSTÄDT, V. Past and present developments in polymer bead foams and bead foaming technology. **Polymer (United Kingdom)**, v. 56, p. 5–19, 2015.

SCHEIRS, J.; PRIDDY, D. **Modern Styrenic Polymers: Polystyrenes and Styrenic Copolymers.** Chichester, England: Wiley Series, 2003.

SCHRAGENHEIM, E.; DETTMER, H. W. Simplified Drum-Buffer-Rope A Whole System Approach to High Velocity Manufacturing. **Goal Systems International**, 2000. Disponível em: <https://www.goalsys.com/books/documents/S-DBRPaper.pdf>. Acesso em 01 dez 2017.

SCHRAGENHEIM, E.; DETTMER, W. **Manufacturing at warp speed: Optimizing Supply Chain Financial Performance.** [s.l.] CRC Press, 2001.

SCHRAGENHEIM, E.; RONEN, B. Drum-buffer-rope shop floor control. **Production and Inventory Management Journal**, 1990. Disponível em: <http://www.boazronen.org/PDF/Drum-Buffer-Rope%20Shop%20Floor%20Control.pdf>. Acesso em 01 dez 2017.

STYROPOR®. **expandable polystyrene BFL Product Series.** Disponível em: [http://iwww.plasticsportal.com/products/PDF/Styropor\\_BFL\\_Series.pdf](http://iwww.plasticsportal.com/products/PDF/Styropor_BFL_Series.pdf). Acesso em: 25 dez. 2017.

TUKEL, O. I.; ROM, W. O.; EKSIUGLU, S. D. An investigation of buffer sizing techniques in critical chain scheduling. **European Journal of Operational Research**, v. 172, n. 2, p. 401–416, 2006.

UMBLE, M.; SRIKANTH, M. L. **Synchronous Manufacturing: Principles for World Class Excellence.** Ohio, USA: South-Western Publishing Co., 1990.

WOEPPEL, M. J. **Manufacturer's Guide to Implementing the Theory of Constraints**. Florida, USA: St. Lucie Press/ APICS Series on Constraints Management, v.32, 2001.

WU, H. H.; CHEN, C. P.; TSAI, C. H.; YANG, C. J. Simulation and scheduling implementation study of TFT-LCD Cell plants using Drum-Buffer-Rope system. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 12, p. 8127–8133, 2010.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Bookman, v.2, 2001.