

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**TEORIA DAS RESTRIÇÕES APLICADA À
CADEIA DE SUPRIMENTOS DO VAREJO: UMA
ANÁLISE COM USO DE MODELO DE SIMULAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Fernanda Becker

Santa Maria, RS, Brasil

2016

**TEORIA DAS RESTRIÇÕES APLICADA À CADEIA DE
SUPRIMENTOS DO VAREJO: UMA ANÁLISE COM USO DE
MODELO DE SIMULAÇÃO**

POR

Fernanda Becker

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia de Produção**.

Orientador: Marcelo Battesini

Santa Maria, RS, Brasil

2016

TEORIA DAS RESTRIÇÕES APLICADA À CADEIA DE SUPRIMENTOS DO VAREJO: UMA ANÁLISE COM USO DE MODELO DE SIMULAÇÃO

Fernanda Becker (UFSM)

fernandabecker.ep@gmail.com

Marcelo Battesini (UFSM)

marcelo-battesini@ufsm.br

A Teoria das Restrições (TOC) é muito aplicada no ambiente fabril, onde a restrição do sistema é um gargalo, porém pouco divulgada em outros contextos, como no gerenciamento de cadeias de suprimentos. Paralelamente, tem-se o grande dilema enfrentado pela logística do varejo, na dúvida entre manter estoques altos a um custo elevado ou diminuí-los arcando com grandes rupturas. O presente artigo tem o objetivo de testar os efeitos da aplicação da TOC na cadeia de suprimentos de uma loja de varejo. Os resultados apresentados no livro “Não é óbvio?”, de Goldratt (2011), sistematizados em sete assertivas, foram investigados com apoio da metodologia de modelagem e simulação discreta de eventos, com uso do software Flexsim nas situações inicial e final, permitindo analisar suas medidas de desempenho. A diminuição de estoques e o aumento da frequência de reabastecimento permitiram diminuir as rupturas de 28,63% dos pedidos para 1,47%, aumentando o giro de estoque 2,86 vezes, o lucro líquido 3,02 vezes e o retorno sobre o investimento 8,64 vezes. Comprovaram-se assim os efeitos da TOC nos indicadores de desempenho da cadeia de suprimentos do varejo, indicando um caminho para evitar rupturas sem aumentar os estoques.

Palavras-chave: TEORIA DAS RESTRIÇÕES, CADEIA DE SUPRIMENTOS, VAREJO, RUPTURAS, SIMULAÇÃO DISCRETA DE EVENTOS

The Theory of Constraints (TOC) is better known in the factory environment, where the system constraint is a bottleneck, but not well know in other contexts, as the supply chain management. At the same time, there is the big deal faced by the retail logistics and its doubt between keeping high level of stock by a high cost, or minimize it bearing the disruptions. This article has the objective of testing the effects of TOC application in the supply chain of a retail store. The results presented in the book “Isn’t obvious?”, from Goldratt (2011), systematized trough seven assertive, were investigated by the modelling and discrete event simulation methodology, using the software Flexsim in the initial and final situations, analyzing its performance. The decrease in stock and the more often supply allowed to decrease the disruption from 28,63% to 1,47%, increasing 2,86 times the inventory turnover, 3,02 times the net profit and 8,64 times the return over investment. The effects of TOC in the performance indicators of a retail supply chain were proved, indicating a way of avoiding disruptions without increasing stocks.

Key-words: Theory of Constraints, Supply Chain, Retail, Disruptions, Discrete Event Simulation

1 INTRODUÇÃO

Os conceitos de logística e cadeia de suprimentos se referem a diferentes dimensões da movimentação de materiais. Segundo Christopher (2010), a logística é em essência uma orientação e uma estrutura de planejamento que visam criar um único plano para o fluxo de produtos e informações. Já a gestão da cadeia de suprimentos, baseada nessa estrutura, busca articulação e coordenação entre os processos de fornecedores, clientes e a organização em si.

O gerenciamento da cadeia de suprimentos (*Supply Chain Management* - SCM) assume maior amplitude e complexidade quando comparado às atividades pontuais – também importantes – da gestão logística. Além disso, é intuitiva a crescente importância da SCM para a vantagem competitiva de uma organização, o que é também destacado por Corrêa (2014) que afirma que atualmente a concorrência não se dá entre empresas, mas entre suas redes de suprimentos.

Quando se trata da cadeia de suprimentos do varejo, percebe-se uma constante luta dos lojistas contra as chamadas rupturas, definidas como a situação em que o cliente deseja um produto e não o encontra na loja, no dilema entre aumentar os estoques para garantir nível de serviço (a um alto custo de inventário) ou diminuir os estoques e correr o risco de perder vendas (SAGGIORO; LACERDA; AROZO, 2010). Campos e Silva (2007) e Aguiar e Sampaio (2014) justificam o estudo do varejo, ressaltando a importância da oferta de um nível de serviço adequado ao cliente, difícil devido à imprevisibilidade da demanda e às consequentes rupturas.

Desde seu surgimento na primeira versão do livro “A Meta” de Goldratt em 1984, a Teoria das Restrições (*Theory of Constraints* – TOC) é implantada no ambiente fabril e sua importância é reconhecida especialmente na programação e controle da produção em fábricas, onde a restrição do sistema é um gargalo. No entanto, no contexto da TOC, uma restrição deve ser entendida de forma mais ampla, se referindo a qualquer elemento ou fator que impede que um sistema conquiste um nível melhor de desempenho em relação a sua meta (COX III et al., 2012). Sendo esse conceito uma das premissas da TOC, percebe-se que sua filosofia pode ser aplicada em diversos tipos de organização, não apenas no setor industrial. A exemplo disso e, como justificativa teórica do estudo, o sucesso da implantação da TOC na solução de distribuição e reabastecimento é demonstrado por Schragenheim (2013) através de excelentes resultados em termos de aumento nas vendas, de redução do investimento em estoque e de melhoria nos giros de estoque. Quanto à maneira de experimentar esses resultados, Sabbadini et al. (2006), bem como Correia et al. (2012), propõem o uso de

ferramentas de simulação na experimentação de cenários para resolução de problemas reais, incluindo-se a aplicação da TOC.

Por fim, o livro “Não é óbvio?” (GOLDRATT, 2011) apresenta uma nova perspectiva, propondo o aumento do nível de serviço (diminuição do número de rupturas) sem a necessidade de previsões mais precisas ou estoques exagerados, mas através da Teoria das Restrições em sua cadeia de suprimentos, justificativa primordial do presente estudo.

Dessa forma, este projeto vai ao encontro dessas temáticas, embasado no tema “Análise da cadeia de suprimentos do varejo”, relacionado à área de atuação logística, em sua subárea Gestão da cadeia de suprimentos. O problema investigado foi: “Os benefícios obtidos pela Teoria das Restrições na cadeia de suprimentos do varejo são comprováveis?”. O trabalho tem por objetivo testar as ideias da aplicação da Teoria das Restrições em uma loja de uma cadeia de suprimentos do varejo do livro “Não é óbvio?”.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Essa seção apresenta a revisão da literatura a respeito das temáticas que compõem o trabalho. A primeira subseção expõe questões sobre o gerenciamento da cadeia de suprimentos, como a gestão de estoques, gestão da demanda, efeito chicote e rupturas de estoque. São ainda apresentadas considerações sobre o varejo, bem como aplicações encontradas em livros e artigos. Na sequência, a subseção 2.2 aborda a Teoria das Restrições, suas etapas, suas considerações sobre SCM, algumas ferramentas e indicadores propostos. Por fim, a subseção 2.3 traz a revisão de modelagem e simulação, seus benefícios, aplicações e etapas.

2.1 Gerenciamento da cadeia de suprimentos

Enquanto a logística, definida por Christopher (2011) como o processo de gestão estratégica das operações de aquisição, movimentação e armazenagem, se concentra no planejamento do fluxo de materiais e informações, o gerenciamento da cadeia de suprimentos é um conceito mais amplo, envolvendo uma tarefa mais complexa, e busca a integração dos processos de todas as organizações da cadeia, a partir do consumidor final para o fornecedor inicial (WANKE, 2010; CHRISTOPHER, 2011). Sua importância aumenta como reflexo da economia globalizada, uma vez que a competitividade entre as organizações já não se resume à concorrência individual, mas sim entre cadeias de suprimentos, cujo dinamismo é fator chave para uma vantagem competitiva (SANTOS; ALVES, 2015). É necessário, portanto,

integrar todas as partes envolvidas, alinhando-se os processos chave e administrando-se as relações de maneira cooperativa para o benefício de todos (CHING, 2010).

Como importantes macroprocessos de SCM, destacam-se a gestão da demanda e de estoque, ambas afetadas diretamente pelo fluxo de informações e integração da cadeia. Corrêa (2010) enfatiza que uma boa gestão de suprimentos inicia com uma boa gestão da demanda, responsável por coletar e agregar as demandas das necessidades de produtos, garantindo que a organização antecipe e reaja às exigências reais do mercado, para atingir elevado nível de satisfação do cliente (CHING, 2010; CHRISTOPHER, 2011). Já a gestão de estoques, conforme Santos e Alves (2015), visa disponibilizar o produto no tempo e nas quantidades certas, através do planejamento do estoque, seu controle e retroalimentação (CHING, 2010).

Nesse contexto, tem-se a importância do estudo do chamado efeito chicote, caracterizado pela propagação da falta de previsibilidade de demanda e aumento dos estoques ao longo da cadeia (MOELLMANN, 2010). Corrêa (2010) o descreve como o fenômeno em que pequenas variações na demanda do consumidor final se amplificam ao longo da rede com a transmissão sequencial distorcida das informações dessa demanda; ou seja, a distorção entre a demanda real e a prevista cresce à medida que “subimos” na cadeia de suprimentos (SANTOS e ALVES, 2015). Entre as causas do efeito chicote, estão os grandes *lead times* (tempo de atravessamento na cadeia), a falta de compartilhamento de informação e de alinhamento estratégico, o tamanho dos pedidos e a imprecisão das previsões (COELHO; FOLLMANN; RODRIGUEZ, 2009). Fiorioli e Fogliatto (2009) destacam algumas consequências do efeito chicote: menor nível de serviço e perda de vendas, devido às grandes variações na demanda; aumento do estoque de segurança e do número de reprogramações da produção, como tentativa de manter o nível de serviço e de reagir a emergências; e, por consequência, o aumento dos custos relacionados aos estoques e diminuição do retorno sobre o investimento. Dessa forma, o gerenciamento do efeito chicote objetiva a redução das ineficiências e de sua transmissão ao longo da cadeia (FIORIOI; FOGLIATTO, 2009), alcançada com o compartilhamento de informações e alinhamento de estratégias (COELHO; FOLLMANN; RODRIGUEZ, 2009), um dos princípios de SCM.

Dentre as consequências do efeito chicote, ressalta-se a ruptura de estoque, evento que pode ser caracterizado pela indisponibilidade no varejista de um item demandado pelo cliente (AGUIAR; SAMPAIO, 2014). O estudo realizado por esses autores levantou as variáveis da literatura relacionadas às altas rupturas, decorrentes de práticas ineficientes nas operações, e as segmentou em problemas de planejamento, de processamento de pedido e de reposição.

Ao olhar para a cadeia de abastecimento entre fabricantes e consumidores, percebe-se o varejista como um facilitador entre as partes, sendo o varejo o conjunto de atividades da venda de produtos e serviços para consumo próprio ou familiar (MERLO, 2011). Levy e Weitz (2000), bem como Coronado (2007), já traziam a importância da gestão logística do varejo, como fator decisivo na competitividade e associada à redução de custos e aumento do nível de serviço.

Um dos dilemas da SCM, inclusive do varejo, é o conflito entre manter menores níveis de inventário, a fim de reduzir custos, ou maiores níveis de inventário, para proteger as vendas evitando rupturas (MOELLMANN, 2010). Saggiaro, Lacerda e Arozo (2010) também trazem a questão conflitante de o excesso de estoque gerar custos desnecessários, mas a falta dele implicar em perda de vendas, em um nível de serviço ao cliente indesejado.

Dentre as teorias e abordagens utilizadas em SCM, a literatura apresenta aplicações da Teoria das Restrições na melhoria do nível de serviço e redução dos efeitos indesejados, a exemplo de Santos e Alves (2015) no segmento de eletrodomésticos e Moellmann (2010) em eletrônicos. Ikerizi e Souza (2015), bem como Souza, Chiminazzo e Pires (2005), também demonstram em estudos teóricos a importância e os benefícios da TOC na SCM.

Essas aplicações e abordagens vão ao encontro das regras da cadeia de suprimentos holística que apresentam uma perspectiva de sistemas e, segundo o *TOCIC Dictionary* (COX III et al., 2012), se referem a processos que incluem, entre outros, o uso de um depósito central para agregar as flutuações estatísticas de oferta e demanda; a ordem de pedidos e reabastecimento diários entre os varejistas e os centros de distribuição; e o gerenciamento de pulmões para ajustar os níveis de amortecimento e melhorar o fluxo. Os conceitos pertinentes e os passos para aplicação da TOC serão apresentados na subseção 2.2.

2.2 Teoria das Restrições

A Teoria das Restrições (TOC), desenvolvida pelo físico israelense Eliyahu Goldratt durante os anos 80 e apresentada em seu livro “*A meta*”, é uma filosofia de gestão global, baseada no princípio da simplicidade inerente mesmo aos processos mais complexos (COX III et al., 2012). Essa simplicidade é traduzida por Goldratt (2013) no fato de haver poucos elementos na organização que restringem seu desempenho e a limitam de alcançar sua meta, sendo eles conhecidos como restrições do sistema.

Pacheco (2014) afirma que as origens da TOC estão relacionadas a um software de programação e controle da produção (*Optimized Production Technology – OPT*), que já

continha muitos dos conceitos inovadores de gestão de produção, posteriormente formalizados na TOC. Em função de a TOC ter sido inicialmente apresentada em um ambiente fabril, no livro “A Meta” (GOLDRATT; COX III, 2014), a ideia de restrição ficou vinculada a um gargalo de produção, o que leva muitas pessoas a perceberem-na apenas como o processo de menor capacidade (GOLDRATT, 2011). No entanto, em outros ambientes de negócios a restrição não é um gargalo; Goldratt (2013) mostra que no contexto da gestão de projetos a restrição é o caminho crítico, na distribuição do setor atacadista a restrição é o caixa e na distribuição do varejo a restrição é o número de clientes que entram na loja.

Para o gerenciamento de restrições dos sistemas, a TOC apresenta o processo de focalização em cinco etapas: identificar as restrições do sistema; explorar as restrições do sistema; subordinar todo o sistema às decisões tomadas na etapa anterior; elevar as restrições do sistema; se uma restrição for quebrada, voltar para a etapa um (SANTOS; ALVES, 2015; GOLDRATT; COX III, 2014; SOUZA; BAPTISTA, 2010; COX III; SPENCER, 2008).

Na primeira etapa, parte-se do princípio que todo sistema deve ter pelo menos uma restrição; identificadas as restrições, “explorar” na segunda etapa significa tirar o máximo proveito das restrições, obtendo o melhor resultado possível nas dadas condições; após definir como as restrições serão exploradas, a terceira etapa diz que se devem utilizar todos os recursos não restritivos na medida exata demandada pela restrição; a quarta etapa implica em aumentar a capacidade da restrição, de modo a aumentar o ganho do sistema como um todo; por fim na última etapa, dado o surgimento de novas restrições, deve-se recomeçar o processo de focalização, evitando que a inércia se torne uma restrição (GUERREIRO, 1999).

Para facilitar a compreensão, Moellmann (2010) apresenta os passos da TOC quando aplicados a SCM, comparados a sua aplicação na manufatura e enfatiza a restrição no mercado. Souza e Baptista (2010) confirmam que a demanda do mercado deve ser encarada como uma permanente restrição. É importante destacar que a exploração da restrição tem o objetivo de garantir a disponibilidade dos produtos em qualquer circunstância, enquanto elevar a restrição objetiva aumentar a capacidade apenas se ela for inferior à demanda (KENDALL, 2000 *apud* MOELLMANN, 2010). Vale salientar a importância do quinto passo, associando-o ao caráter de melhoria contínua (Goldratt, 2013).

Outro mecanismo da TOC é o chamado Tambor-Pulmão-Corda (TPC), cujos componentes são apresentados pelo TOCICO *Dictionary* (COX III et al., 2012) da seguinte maneira: Tambor é a restrição ou recurso com limitação de capacidade, que dita o ritmo do sistema; pulmão são estoques de proteção contra incertezas; corda se refere ao fluxo de informações que controla a liberação de materiais de acordo com o tambor. Moellmann

(2010) resume seu funcionamento em três tópicos: subordinação do fluxo da cadeia ao tambor; adição de pulmões em pontos estratégicos do sistema, para proteger o tambor; e controle do nível dos pulmões, a fim de manter o fluxo contínuo de maneira puxada no tambor.

No contexto da cadeia de suprimentos, o TPC apresenta desafios ainda maiores (SANTOS E ALVES, 2015). Blackstone (2013) acrescenta que o mecanismo foi ampliado para a SCM, de modo a puxar os estoques, e que a extensão da TOC para a SCM é conhecida como reabastecimento rápido. Nesses casos, em que o mercado é a principal restrição do sistema (e não uma restrição de capacidade interna), o método TPC é convertido em uma versão simplificada (TPCS), conforme explicam Souza e Baptista (2015). Os autores afirmam ainda que o método TPCS é o preferido em aplicações atuais da TOC, devido à sua flexibilidade. Um exemplo que confirma o mercado como o recurso restritivo foi apresentado por Santos e Alves (2015), que propõem um modelo de gestão integrada na cadeia de suprimentos de uma indústria de eletrodomésticos, alcançando maior integração dos membros da cadeia, além de demonstrarem a associação da redução de estoques a um maior nível de serviço ao cliente, ao utilizar o TPCS na subordinação de todos os membros da cadeia à demanda do mercado.

Voltando-se à relação entre TOC e SCM, Schragenheim (2013) afirma que um de seus princípios básicos é a utilização de um armazém de fábrica ou armazém central como um centro de distribuição, operando com sistema puxado dos estoques pela cadeia até o ponto de consumo. Segundo Blackstone (2013), essa solução deve iniciar com uma maior frequência de entregas, de quantidade equivalente às vendas reais do período de entrega anterior. Ou seja, o estoque no início de um período é apenas a quantidade máxima provável de vendas durante o período de reabastecimento previsto. Além disso, Blackstone (2013) explica que o método funciona uma vez que a maioria dos estoques são mantidos no depósito central do fabricante, onde a variabilidade é menor que no varejista comum.

Essa lógica de funcionamento da TOC na cadeia de suprimentos, em especial do varejo, foi inicialmente descrita no livro “Não é óbvio?” (GOLDRATT, 2011), objeto central do presente trabalho. O livro traz os passos do processo de focalização no varejo e destaca que o varejo é um dos ambientes mais fáceis e seguros para melhoria de desempenho, uma vez que sua restrição (o número de clientes que entra na loja) é fixa, nunca se quebra (GOLDRATT, 2011).

Os resultados descritos por Goldratt (2011), bem como os descritos por Santos e Alves (2015) por exemplo, fazem parte das medidas de desempenho adotadas pela TOC na chamada

contabilidade de ganhos, consideradas por Guerreiro (1999) como parâmetros norteadores das ações para o alcance da meta. Esses indicadores são o ganho (G), o inventário (I) e a despesa operacional (D), definidos por Cox III e Spencer (2008), com base no *APICS Dictionary*, como:

- Ganho ou *throughput* (G): taxa na qual o sistema gera dinheiro através das vendas; preço de venda menos montante pago aos fornecedores;
- Inventário (I): avaliado pelo valor de compra de todos os itens comprados que podem ser revendidos (bens acabados, estoques intermediários e matérias-primas);
- Despesas operacionais (DO): quantidade de dinheiro gasta pela empresa para converter inventário em vendas em um período específico de tempo.

Schragenheim (2013) inclui o Retorno Sobre o Investimento (RSI) de cada item, como importante indicador de comparação entre SKUs (*Stock Keeping Unit* – unidade de manutenção de estoque) para um varejista. Conforme Guerreiro (1999), o RSI pode ser calculado como a divisão entre Lucro Líquido (LL) e o inventário (I), posto que o lucro líquido (LL) é calculado pela diferença entre o ganho (G) e a despesa operacional (DO), ou seja, $RSI=(G-DO)/I$.

Outra medida de desempenho importante é o giro de estoque (GE), definido por Schragenheim (2013) com base no *APICS Dictionary* como: “Número de ciclos ou número de vezes que um estoque ‘gira’ durante o ano”, calculado segundo Goldratt (2014) através da divisão entre o valor das vendas anuais (VV) e o custo médio de estoque (CE), ou seja, $GE=VV/CE$.

Por fim, Schragenheim (2013) aponta a simulação como uma forma de avaliar essas medidas – resultados da solução obtida pela aplicação da TOC em um ambiente específico – especialmente antes da implementação. Um exemplo dos benefícios da TOC aliada à simulação no setor da saúde é demonstrado por Sabbadini et al. (2006), que aplicaram a TOC na gestão da capacidade de atendimento em um hospital de emergência e, com isso, reduziram o tempo de espera do paciente urgente e aumentaram a capacidade do serviço. Através dos princípios da TOC, os autores identificaram que o número de pacientes internados era superior à capacidade de atendimento dos médicos e, através de simulação, verificaram o comportamento do sistema, definindo onde as alterações e os investimentos deveriam ser realizados.

2.3 Modelagem e simulação

Ainda que existam diferentes significados para a palavra simulação, vale pontuar que o presente trabalho discute a modelagem e simulação computacional de eventos discretos. Segundo Chwif e Medina (2010), um modelo de simulação compreende as características de sistemas reais, que mudam seu estado em momentos discretos no tempo a partir de eventos, repetindo em um computador esse comportamento do sistema quando submetido a dadas condições de contorno. Sokolowski et al. (2010) também definem a simulação de eventos discretos como a variação em um modelo causada pela sequência cronológica de eventos nele agindo. Vargas e Paglione (2015) confirmam a definição de simulação como a imitação do funcionamento do sistema real, processo ou situação, através de modelos matemáticos desenvolvidos *a priori*, contendo as principais características que se quer representar. A simulação é um meio de se experimentar ideias e conceitos, sob condições que não poderiam ser testadas na prática, devido ao custo, demora ou risco envolvidos (SCHAFRANSKI; TUBINO, 2013).

Chwif e Medina (2010) dividem o campo de aplicação da simulação entre os setores de manufatura e de serviços. As aplicações da simulação em serviços podem ser encontradas em aeroportos e portos, bancos, cadeias logísticas, centrais de atendimento, escritórios, hospitais, parque de diversões e supermercados; enquanto em manufatura, as principais aplicações estão nas linhas de produção (PRADO, 1999; CHWIF; MEDINA, 2010). Quando se trata de cadeias logísticas, conforme Chwif e Medina (2010), as aplicações da simulação estão na determinação da política de estoques e no projeto da rede de transportes e distribuição ao longo da cadeia.

Entre os benefícios da simulação, destaca-se a possibilidade de antecipar consequências de mudanças operacionais antes da sua implementação no sistema real, sem gerar ônus elevados (SABBADINI et al., 2006). Para o sucesso do estudo de simulação alguns passos que devem ser seguidos (Chwif e Medina, 2010; Jacobs e Chase, 2012; e Law, 2003), caracterizados na literatura como metodologias de simulação.

Chwif e Medina (2010) dividem o desenvolvimento do modelo de simulação em três grandes etapas, conforme se pode observar na Figura 1, e apresentam os diferentes modelos a serem formulados que são a seguir descritos na perspectiva dos autores.

Na primeira etapa, de concepção, devem ser esclarecidos os objetivos da simulação e as informações sobre o sistema a ser simulado, bem como o escopo do modelo, suas hipóteses e seu nível de detalhamento. O resultado é o o modelo abstrato que deve ser convertido em

um modelo conceitual, com o uso de técnica adequada de representação. Segundo os autores a segunda etapa, de implementação, converte o modelo conceitual em um modelo computacional, através de linguagem de simulação ou de um simulador comercial. O modelo computacional implementado deve, então, ser comparado com o modelo conceitual, de modo a avaliar se sua operação atende ao estabelecido na etapa 1. Esse processo abrange as chamadas validação e verificação. A validação atenta para o modelo conceitual, a fim de se certificar que as considerações nele feitas representam o sistema real, enquanto a verificação se relaciona ao modelo computacional e seus possíveis *bugs*. Ou seja, a validação se preocupa com o que será modelado e a verificação com o modo como o modelo está sendo implementado. Por fim, na terceira etapa, de análise, o modelo computacional está pronto para os experimentos, dando origem ao modelo experimental/operacional, no qual são efetuadas várias rodadas para posterior análise e documentação dos resultados.

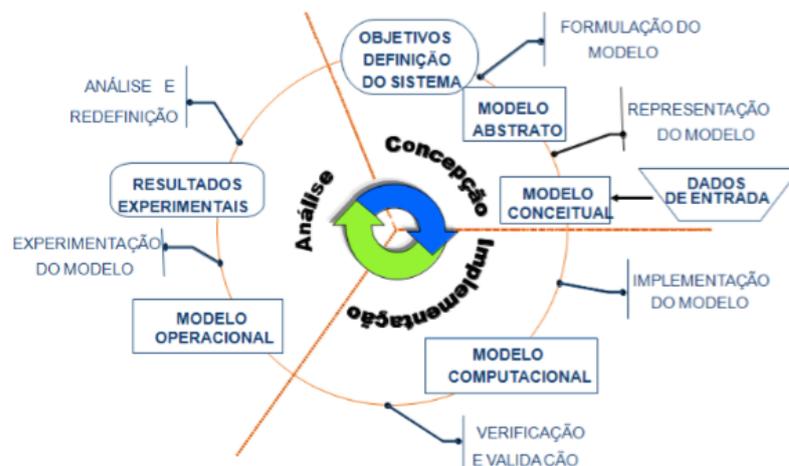


Figura 1 – Etapas da modelagem de simulação.
Fonte: Chwif e Medina (2010).

Analogamente, Jacobs e Chase (2012) propõem como principais passos do estudo de simulação: definir o problema, construir o modelo de simulação, especificar os valores das variáveis e dos parâmetros, executar a simulação, avaliar os resultados, validar e propor um novo experimento. Segundo os autores, os parâmetros são as propriedades do sistema real que devem ser fixas e as variáveis são aquelas que podem sofrer variação. Deve-se ainda especificar as regras de decisão, que explicitam sob quais condições o modelo se comporta e quais as distribuições de probabilidade a serem utilizadas (JACOBS; CHASE, 2012).

Além dessas, uma forma clássica de implementar estudos de simulação computacional de eventos discretos é apresentada por Law (2003) em 7 passos: formular o problema; coletar informações e construir o modelo conceitual; verificar o modelo; programar o modelo; validar

o modelo programado; conduzir e analisar os experimentos; e, então, documentar e apresentar os resultados. O autor enfatiza a importância do modelo conceitual, que deve conter informações bem detalhadas de cada subsistema e ser entendível pelo tomador de decisão do sistema. Acrescenta ainda os benefícios de se usar um simulador comercial na etapa de programação do modelo, tais como, a redução do tempo de programação e do custo do projeto.

Posto que um sistema é uma coleção de elementos que se inter-relacionam ao trabalhar conjuntamente no atingimento de uma meta desejada, deve-se ainda definir os elementos que o compõem (HARRELL; GHOSH; BOWDEN, 2011). Segundo esses autores, os elementos são atividades, recursos e controles, utilizados ao processar entidades. Atividades são caracterizadas pelos autores como tarefas que consomem tempo e recursos e podem representar o processamento de uma entidade, como atividades de atendimento, corte ou inspeção; a movimentação de uma entidade, como o transporte em empilhadeiras ou em elevadores; ou ainda o ajuste de recursos, manutenção e reparo, como atividades de setup. Os autores definem recursos como os meios através dos quais são realizadas atividades, podendo ser classificados como: humanos ou animados, a exemplo de operadores e equipe de manutenção; inanimadas, como equipamentos, máquinas, ferramentas; ou intangíveis, referentes a informações, energia elétrica. Por fim, Harrell et al. esclarecem que os controles objetivam o estabelecimento de ordem ao sistema, determinando como, quanto e onde se realizam as atividades.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Quanto a sua natureza, o presente trabalho consiste em uma pesquisa aplicada, 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 quanti-qualitativa (combinada), por combinar análises qualitativas na sistematização do cenário do modelo de simulação com análise quantitativa dessas informações; quanto aos seus objetivos, é uma pesquisa exploratória, por visar tornar o problema mais explícito, construindo hipóteses através de um levantamento bibliográfico (GIL, 2010). Por fim, quanto aos procedimentos técnicos utilizados, os métodos seguem a proposta de modelagem e simulação, “empregada quando se deseja experimentar, através de um modelo, um sistema real, determinando-se como esse sistema responderá a modificações propostas” (TURRIONI; MELLO, 2012), de forma a investigar a relação entre as variáveis em dado domínio (BERTRAND; FRANSOO, 2002).

Este estudo foi realizado com base no cenário apresentado por Goldratt (2011), em seu livro “Não é óbvio? – A Teoria das Restrições (TOC) em uma história do mundo dos negócios”. De forma romanceada e fictícia, o autor apresenta a gestão da cadeia de suprimentos, sob a ótica da Teoria das Restrições, em uma rede de varejo de cama, mesa e banho dos Estados Unidos. A rede “Hannah’s Shop” atende a nove regiões cada uma com aproximadamente dez lojas, sendo o foco do livro, bem como do presente trabalho, a unidade de Boca Raton, na Flórida.

As etapas seguidas foram sistematizar a sequência de eventos do caso descrito por Eliyahu Goldratt no livro “Não é óbvio? – A Teoria das restrições (TOC) em uma história do mundo dos negócios” e seus resultados; elaborar, verificar e validar um modelo de simulação que represente o caso; e comparar os resultados do modelo de simulação com os descritos no livro. As atividades desenvolvidas se basearam nas metodologias de Chwif e Medina (2010), Jacobs e Chase (2012) e Law (2003) já apresentadas na seção 2.3:

1. Sistematização estruturada do livro “Não é óbvio?”, identificando cada evento, o contexto, a causa, a ação tomada e os resultados descritos na obra, constituindo um modelo abstrato, que correspondeu a etapa de formulação do problema;
2. Elaboração do modelo conceitual de simulação, definindo as entidades presentes no problema, os recursos utilizados, os parâmetros especificados para o modelo e as variáveis que se pretende analisar, através de assertivas encontradas no livro;
3. Elaboração de um modelo computacional de simulação, que contemple todas as características definidas no modelo conceitual em um ambiente virtual, através do software *Flexsim*; verificação do modelo computacional, comparando-o com o modelo conceitual adotado, e validação, através da comparação com o sistema real quanto aos resultados obtidos;
4. Condução do experimento no *software Flexsim* em sua ferramenta *Experimenter*, documentação dos resultados obtidos; propondo análises e conclusões.

O modelo analisado se baseia na realidade descrita no livro; no entanto, algumas informações a respeito da situação inicial não são claramente definidas pelo autor (a frequência das entregas na loja, a lógica de reabastecimento, o tamanho (médio) dos SKUs enviados pelo depósito regional, o número médio de pedidos por dia). Para suprir essa ausência de informações, esses parâmetros foram definidos durante a elaboração do modelo. Outros dados como a demanda, o custo e o valor de venda de cada produto tiveram de ser generalizados, dado que o livro apresenta apenas suas médias. Além disso, o autor não descreve custos de transporte no reabastecimento, custos relacionados ao tamanho do lote,

nem curva ABC de classificação dos produtos; portanto, como opção metodológica, esses elementos não foram considerados. Cada uma das etapas descritas na metodologia está melhor detalhada nas subseções a seguir, conforme a estrutura proposta.

3.1 Formulação do problema

A primeira etapa da metodologia proposta foi a sistematização do livro “Não é óbvio” (GOLDRATT, 2011). Os eventos do livro foram estruturados em três cenários na forma de um quadro apresentado no Apêndice A, no qual foram sistematizadas a descrição de cada evento exposto no livro, a sua causa, a ação tomada pelos gestores e os resultados de cada ação relatados pelo autor. Essa sistematização foi considerada como o modelo abstrato que subsidiou a elaboração do modelo conceitual da simulação.

O Apêndice A registra o resultado de uma leitura sistemática realizada para subsidiar a condução deste projeto de pesquisa, motivo pelo qual os dados transcritos apresentam a indicação da página em que se encontram no livro, de modo a facilitar a busca de detalhes e um maior entendimento pelo leitor. O cenário inicial caracteriza o contexto de varejo no qual a loja de Boca Raton (LBR) está inserida; o cenário intermediário, a situação da LBR após a implantação de mudanças baseadas nas etapas do processo de focalização da TOC; e o cenário final do livro.

Apenas os dois primeiros cenários foram objetos do estudo de simulação conduzido neste trabalho, como opção metodológica, em função de o autor não descrever os resultados esperados após a implantação do cenário 3. Assim, os cenários inicial e intermediário que constam no Apêndice A foram caracterizados como situação inicial e final, respectivamente.

3.2 Construção do modelo conceitual

O modelo conceitual foi elaborado a partir do modelo abstrato caracterizado na seção 4.1, em relação ao qual foram caracterizadas as entidades, as atividades, os recursos e os controles do modelo. Foram utilizados dois tipos de entidades. Na situação inicial, as entidades entrantes no modelo são SKUs e pedidos. Após recebidos os SKUs são convertidos em itens que são as entidades armazenadas no depósito, pois se entende que ocorre um envio de carga pelo depósito com mais de um item de um mesmo SKU, mas os clientes os compram em unidades.

Em ambos os cenários as atividades desenvolvidas são: o recebimento de SKUs pelo depósito regional, a estocagem dos itens no depósito da loja, a distribuição nas prateleiras dos

departamentos, o recebimento dos pedidos dos clientes e a saída dos itens quando demandados. Os recursos fixos utilizados foram as prateleiras, fila de armazenagem no depósito da loja, fila de recebimento ou depósito regional, fila após a geração de pedidos, fila de contagem de rupturas e de vendas. Não foram definidos recursos móveis que interajam no modelo como uma simplificação da movimentação de itens e materiais, assim como dos vendedores e clientes.

Quanto à situação inicial, os principais parâmetros estabelecidos são: número de itens oferecidos pela loja, taxa de chegada de cada um dos SKUs, taxa de demanda, frequência das chegadas, *mark-up*, lucro e custo por item (em unidades monetárias \$). Sabendo-se que o *mark-up* (margem de lucro) da loja é de 100%, estabeleceu-se um custo unitário de \$ 1,00, padronizado para todos os itens, e um preço de venda de \$ 2,00. Foram utilizados 200 tipos de produtos distintos (SKUs e itens), que corresponde a 10% dos 2000 produtos descritos para a situação inicial apresentada no livro. Os itens foram igualmente distribuídos entre os cinco departamentos da loja. Conforme já mencionado, esses itens chegam à loja na forma de SKUs e, uma vez que o autor não deixa explícito o tamanho do lote, fixou-se que 1 SKU corresponde a 10 unidades do mesmo item. Vale destacar que a frequência de chegada dos itens não é claramente definida na situação inicial do livro e, portanto, foram experimentados diversos intervalos de chegada de produtos durante o estudo do modelo, definindo-se o intervalo de 3 dias entre as entregas.

Quanto à taxa de demanda, utilizou-se uma distribuição exponencial na chegada dos pedidos à loja; além disso, sabendo que alguns itens vendem mais que os demais, estabeleceu-se a representatividade percentual de cada item no total de pedidos do dia, mantendo a homogeneidade entre os departamentos. Embora não seja mencionado no livro qual o total diário de pedidos/clientes, esse número foi centrado em 100 pedidos por dia. Vale salientar que essas deliberações não representam prejuízo aos resultados do modelo, dado que não são analisados resultados absolutos e sim relativos, entre a situação inicial e final. Outra importante definição foi a lógica utilizada no reabastecimento dos itens, ou seja, o critério de elaboração dos pedidos ao depósito regional. Uma vez que, na situação final, os pedidos são baseados na quantidade de vendas geradas durante o período entre as reposições, definiu-se a mesma lógica na situação inicial. Por fim, o parâmetro de tempo de simulação foi definido em 1 ano (240 dias), ao qual foi acrescido um *warm-up* de 100 dias, totalizando-se 340 dias de simulação.

Já na situação final, a frequência de chegada dos itens na loja é definida com clareza pelo autor, dado que ela representa a principal mudança em relação à situação inicial. Nesse

cenário, os pedidos ao depósito regional ocorrem diariamente e, assim, a frequência das chegadas dos produtos é diária. Outra alteração importante foi a chegada dos produtos na forma de itens e não mais SKUs, como no princípio. Os demais parâmetros (número de itens oferecidos, taxa de demanda, total de pedidos por dia, lucro do item, custo do item, tamanho das prateleiras, mark-up, lógica de reposição) não foram alterados, a fim de preservar as condições para comparação de resultados. Isso significa que qualquer diferença nos resultados obtidos entre os modelos se deve apenas à frequência de reabastecimento, ao estoque mantido e ao tamanho do lote de encomenda de produtos. A Figura 2 resume as alterações da situação inicial para a final.

Parâmetro	Situação inicial	Situação final
Frequência de reabastecimento	3 dias	1 dia
Entidades entrantes	SKUs (1:10)	Itens
Estoque inicial	4 meses	20 dias

Figura 2 Comparação dos parâmetros da situação inicial e final.
Fonte: Autor (2016).

As variáveis analisadas nas duas situações foram o total de itens vendidos no período de simulação, o total de pedidos que chegaram à loja, o número de rupturas (medido em itens e em %), a média de itens em estoque. Sendo assim, os controles do modelo estão ligados aos parâmetros estabelecidos, assegurando sua validade, e às variáveis que se pretendia investigar. A partir das variáveis, foram levantados os seguintes indicadores: o lucro médio da loja no período estipulado, o custo total do inventário (\$), o Retorno Sobre o Investimento e o giro de estoque, calculados para as duas situações analisadas servindo para a comparação de desempenho das mesmas.

Para tanto, foram destacadas sete assertivas da sistematização realizada, que descrevem as medidas de performance e os respectivos resultados preconizados pelo autor. Essas assertivas correspondem às medidas de desempenho propostas pela TOC conforme o referencial teórico e apresentadas pelo autor no livro.

Assertiva 1. Rupturas entre 25% e 33% dos itens na situação inicial

De acordo com o autor, na situação inicial, há rupturas entre 1/3 e 1/4 dos pedidos, sendo que a maioria das rupturas ocorre entre os itens mais vendidos.

Assertiva 2. Rupturas inferiores a 10% na situação final

O livro descreve uma situação final com rupturas inferiores a 10% após a implementação das mudanças no estoque mantido e na lógica de reposição das mercadorias.

Assertiva 3. Aumento das vendas entre 20 e 30%

Uma das principais variáveis mensuradas é o número de itens vendidos e, de acordo com o livro, a situação final apresenta vendas entre 20 a 30% maiores que a situação inicial. Vale destacar aqui que o número de pedidos entrantes na loja não mudou entre as situações, mas sim o percentual deles que encontra o item desejado.

Assertiva 4. Estoque na situação final deve ser igual a 20 vezes a média diária das vendas obtidas na situação inicial

Conforme descrito pelo autor, o dono da loja elabora uma tabela de vendas diárias ao final da situação inicial e a utiliza como tabela referencial para a escolha do estoque a ser mantido na situação final. A partir dessa tabela, define-se que o estoque final é igual a 20 vezes a média de venda diária de cada um dos itens que a loja oferece. O livro descreve que esse estoque final corresponde a 1/4 do total mantido em estoque na situação inicial.

Assertiva 5. Giro de estoque de 6 vezes ao ano na situação inicial para 30 vezes ao ano na situação final

Goldratt apresenta no livro que o indicador de giro de estoque pode ser calculado através da divisão do valor das vendas anuais da loja pelo custo médio do estoque mantido. Então, na situação inicial o giro de estoque é 6 vezes ao ano, evoluindo para 30 vezes ao ano na situação final; ou seja, um aumento de 5 vezes no indicador.

Assertiva 6. Aumento do lucro líquido (LL) médio de 6% para 17,4% Retorno sobre o Investimento (RSI) 10 vezes maior que na situação inicial

Importante medida de desempenho é o lucro líquido, calculado a partir do ganho, ou receita, menos as despesas operacionais. O autor apresenta que o lucro líquido médio da loja era de 6% e passou para 17,4% na situação final.

Assertiva 7. Retorno sobre o Investimento (RSI) 10 vezes maior que na situação inicial

O Retorno sobre o Investimento (RSI) é calculado através da divisão do Lucro líquido sobre o custo total de inventário. Seu resultado descrito na situação final do livro é 10 vezes maior que o encontrado na situação inicial.

3.3 Construção do modelo computacional

Conforme apresentado nos procedimentos metodológicos, o modelo computacional foi elaborado através do *software* de simulação Flexsim, com base no modelo conceitual. O objetivo foi reproduzir a realidade da loja descrita no livro, com foco no balanceamento do fluxo de produtos entre o abastecimento e saída quando demandados. Para tanto, o modelo apresenta em sua organização um depósito regional, depósito da loja, prateleiras (departamentos), caixas, fonte de pedidos e de produtos, como se pode observar no Apêndice B. Os componentes do modelo computacional, sua lógica de funcionamento e as configurações utilizadas estão descritas a seguir.

- Fonte de produtos: os produtos chegam à loja em entregas programadas de acordo com a frequência estabelecida (3 dias na situação inicial, 1 dia na situação final), respeitando as quantidades calculadas baseadas nas vendas de cada item. Ao gerar o produto, a fonte atribui a ele um número (em um rótulo chamado “SKU”, conhecido pelo simulador como *label*) e uma cor, de acordo com o tipo do produto (de 1 a 200);
- “Fonte G de produtos:” estabeleceu-se ainda uma “Fonte G” de produtos, responsável pelo abastecimento da loja no tempo $t=0$. Na situação inicial, essa fonte enche a loja com 4 meses de estoque, garantindo que já no momento inicial todos os produtos estivessem disponíveis para venda. Para isso, na situação inicial, a “Fonte G” abastece a loja com 560 SKUs (equivalente a 5600 itens), respeitando a proporção de demanda de cada produto, conforme se pode observar no Apêndice C. Já na situação final, a fonte abastece apenas o equivalente a 20 vezes a média diária de vendas encontrada na situação inicial (explicação detalhada a seguir);
- Fonte de pedidos: os pedidos chegam à loja seguindo a distribuição exponencial centrada em 100 pedidos por dia. Assim como os produtos, os pedidos são identificados através de um *label*, com o mesmo número do produto ao qual o pedido se refere. A fonte geradora de pedidos obedece ainda a uma tabela com os percentuais de representatividade de cada produto dentro do *mix*, de modo que cada departamento possui 5 produtos de maior demanda, 15 produtos de demanda intermediária e 20 produtos com menor saída. A distribuição é a mesma dentro de todos os departamentos e se encontra no Apêndice D;
- Depósito regional: os produtos encomendados pela loja e gerados na fonte são encaminhados a uma fila, denominada no modelo como depósito regional. Essa fila possui capacidade de 10.000 unidades (SKUs, na situação inicial, ou itens, na situação final);
- *Separator*: como a situação inicial apresenta a chegada dos produtos na forma de SKUs, foi utilizado o recurso do simulador conhecido como *separator*, responsável por converter 1

SKU em 10 itens do produto a que ele se refere. A Figura 3 não apresenta o *separator*, para simplificação das imagens. Na situação final, o *separator* foi eliminado;

- Depósito da loja: após a conversão em itens no *separator*, os produtos chegam ao depósito da loja, com capacidade igual a 2800 unidades. O depósito destina cada produto ao departamento correto, dado que cada um contém 40 produtos, seguindo a ordem crescente (produtos do 1-40 pertencem ao departamento 1, produtos do 41-80 ao departamento 2, etc);
- Departamentos: os departamentos da loja foram representados no modelo através de prateleiras, cada qual com capacidade igual a 560 unidades. Foi estabelecida uma estratégia dedicada nas prateleiras, para impedir que todos os espaços fossem preenchidos por um único produto causando possíveis rupturas de produtos presentes apenas no depósito. Assim, cada prateleira pode estocar apenas 14 unidades de um único produto e, quando o produto não existe no estoque total da loja, seu espaço fica disponível na prateleira. Além disso, estabeleceu-se uma estratégia puxada na prateleira, que puxa os itens do depósito da loja, sempre que estiverem ali disponíveis e em quantidade inferior a 14 na prateleira;
- Caixas: utilizou-se o recurso do simulador chamado *Combiner*, representando um caixa da loja, responsável por receber o pedido do cliente (vindo da Fonte de pedidos) e procurar na prateleira o produto correspondente. O modelo contém 5 caixas, cada um responsável por um departamento da loja. Se disponível no estoque, o caixa puxa o produto da prateleira, combina o produto com o pedido e envia o conjunto para uma fila chamada “Vendas”. Se o produto não está no estoque, o caixa descarta o pedido para uma fila chamada “Rupturas”;
- Fila de vendas e rupturas: foram estabelecidas, ao final do fluxo do modelo, duas filas distintas, responsáveis por acumular os pedidos que resultaram em vendas (combinados com o produto equivalente) e os pedidos não atendidos (que representam uma ruptura).

Vale destacar também a lógica utilizada no reabastecimento dos produtos na loja, ou seja, a forma como a loja encomenda os SKUs ao depósito e como esse cálculo impacta a fonte geradora de produtos. Em ambas as situações, a reposição é baseada nas quantidades vendidas de cada item durante o período. Dessa forma, o modelo acumula em uma tabela auxiliar a quantidade vendida de cada um dos produtos, à medida que os mesmos entram na fila de “Vendas” no final do fluxo. Utilizou-se uma ferramenta do simulador chamada *User Event*, de tal modo que, a cada entrega, o modelo calcula quantas unidades foram vendidas de cada item desde a última reposição, envia essas quantidades para o comando da Fonte geradora de produtos e, então, zera a tabela de contagem, para que acumule as vendas do próximo período.

Na situação final, esse evento ocorre diariamente, permitindo à loja reabastecer tudo o que foi vendido no dia anterior. Já na situação inicial, a reposição se dá em SKUs de tamanho igual a 10 itens e, portanto, uma restrição teve de ser adicionada à programação do evento. O modelo confere se a quantidade vendida durante o período foi igual ou maior a 10 itens, para que se justifique a reposição de 1 SKU. Se positivo, a quantidade é dividida por 10 e o resultado arredondado é encaminhado à fonte geradora de produtos; então, a contagem se inicia novamente para o próximo período. Se as vendas forem inferiores a 10 unidades daquele produto, o modelo não encomenda nenhum SKU e não zera a tabela de vendas do período, mas deixa acumular a contagem para que se teste novamente no próximo evento. Os *scripts* utilizados na programação desse *User Event* se encontram no Apêndice E do trabalho, como exemplo de códigos que foram personalizados para atender às necessidades do modelo.

A tabela auxiliar de contagem de vendas por item foi planejada também para, ao final da situação inicial, se obter a média de unidades vendidas por produto. As quantidades médias de cada item originaram a tabela utilizada na Fonte G da situação final, como estoque desejado. Outro ponto do modelo computacional foi a configuração dos controles através dos chamados *dashboards* do simulador, painéis que permitem a visualização de gráficos e estatísticas a medida que o modelo é executado, desde que se configure o tipo de informação (média, conteúdo total, conteúdo atual, tempos de processamento, etc.) e a fonte dessas informações (o objeto que se deseja analisar), como o depósito da loja, a fila de vendas, a fila de rupturas, etc.

Os controles escolhidos para o modelo computacional foram: total de pedidos gerados ao final da simulação, total de vendas, total de rupturas, estoque médio de cada departamento, estoque médio do depósito da loja, estoque médio total mantido durante a simulação (considerando depósito da loja e departamentos), tempo médio de permanência de um item no depósito regional, conteúdo médio do depósito regional. A configuração desses controles no *dashboard* do modelo computacional permitiu a visualização dos dados, também após conduzir a simulação na ferramenta *Experimenter*, conforme será descrito na subseção seguinte.

A verificação e validação do modelo computacional correspondem a uma importante etapa da metodologia de simulação, que foi aplicada no modelo computacional da situação inicial. Conforme já explicado, a verificação consiste na certificação de que o que está programado no simulador atende às necessidades do modelo, ou seja, é a comparação do modelo computacional com o modelo conceitual. A busca para que o modelo cumprisse seu papel (como por exemplo a distribuição dos itens nas prateleiras em uma estratégia dedicada,

a associação dos pedidos aos produtos corretos, o descarte dos pedidos não atendidos sinalizando rupturas, o reabastecimento programado seguindo uma lógica dinâmica, etc) exigiu uma longa trajetória de verificação, uma vez que a simulação de uma rede como a descrita no livro não é trivial. Isso foi atingido através do estudo das funcionalidades do *software* e ajuda em fóruns de discussão do próprio *Flexsim*, além da personalização dos códigos de alguns recursos (como os apresentados no *User Event*). Então, o uso de tabelas auxiliares e a simulação em pequenos intervalos de tempo permitiram que cada novo código ou lógica implantada fossem testados, para saber se eles, de fato, obedeciam ao fluxo desejado.

Já a validação corresponde à comparação do modelo computacional com o sistema real observado. A validação do modelo se deu através da investigação da assertiva 1 estabelecida anteriormente, referente ao percentual de rupturas desejado para a situação inicial. Foi necessária a experimentação de diversos cenários possíveis para a situação inicial, dado que não se tinha descrito no livro qual o intervalo de reabastecimento. O modelo foi simulado com diferentes frequências de abastecimento e diferentes capacidades de estocagem, alternando-se inclusive as lógicas de reposição dos produtos, na tentativa de encontrar um cenário que respeitasse as exigências descritas no livro e trouxesse os resultados desejados. Foram testadas 37 alternativas, cujos resultados se encontram no Apêndice F. A partir delas, optou-se pelo modelo de reposições baseadas nas vendas a cada 3 dias, depósito da loja com capacidade de 2800 itens e prateleiras com capacidade de 560 itens cada. Esse ajuste validou o modelo ao encontrar uma média de 28,63% de rupturas e, então, iniciou-se a condução do experimento.

3.4 Condução e análise dos experimentos

A ferramenta *Experimenter* do *software Flexsim* foi usada para definir, executar e analisar experimentos em cenários de modelos definidos. As medidas de performance escolhidas no *Experimenter* foram as mesmas utilizadas no *dashboard* e descritas anteriormente. Como o tempo de simulação configurado foi de 240 dias, equivalente a 1 ano, com *warm-up* de 100 dias, inseriu-se tempo total de 340 dias de simulação. Esse período de “aquecimento” permite que o modelo alcance certa estabilidade, antes de começar a contabilizar seus resultados.

O passo seguinte foi o cálculo do número de replicações necessário, utilizando os resultados encontrados para o número de rupturas com o auxílio da Equação (1):

$$\text{Número de Repetições} = n * \left(\frac{e}{e'}\right)^2 \quad (1)$$

, sendo n igual ao número de replicações utilizado inicialmente, e é a diferença entre a média das rupturas e seu limite inferior/superior, e' é erro aceito (diferença entre o limite inferior/superior aceito e a média desejada). Para o modelo da situação atual, considerando um erro aceitável (e') igual a 300, utilizando uma quantidade de replicações inicial (n) igual a 4, obteve-se um erro entre as replicações (e) de 152 rupturas, valores que indicaram a necessidade de 1,03 replicações. Dessa forma, percebe-se que o número de repetições igual a 4 utilizado no *Experimenter* foi suficiente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao rodar o *Experimenter*, escolheu-se um intervalo de confiança de 95% para todos os resultados, a serem descritos nessa seção. Após simulação dos modelos computacionais da situação inicial e final no *software* Flexsim, foi exportado um arquivo com os resultados encontrados em cada replicação para as medidas de performance descritas (total de pedidos, número de vendas, número de rupturas, estoques médios), contendo também a média dos valores e seus limites inferior e superior. A partir dessas medidas básicas, foram calculados os demais indicadores de desempenho desejados, com base nas equações apresentadas na seção 2.2: custo do estoque médio, receita bruta no período, custo dos produtos vendidos, receita operacional, lucro líquido, despesa operacional, giro de estoque e retorno sobre o investimento. Foram utilizados os dados definidos no modelo conceitual, sendo eles: custo unitário do produto igual a \$ 1,00; mark-up de 100%; valor unitário de venda igual a \$ 2,00.

Na ausência de informações sobre a despesa operacional, mas sabendo-se que o lucro líquido médio da loja na situação inicial era de 6%, ela pode ser calculada, pois o lucro líquido é igual à receita bruta, menos o custo dos produtos vendidos, menos a despesa operacional. Os resultados encontrados na situação inicial foram consolidados na Figura 5. Embora a tabela contenha os resultados de todas as replicações, os valores utilizados foram apenas as médias de cada indicador. Vale destacar o valor encontrado para a receita operacional, obtido através da diferença entre a receita bruta, o custo dos produtos e o lucro líquido (com base no 6%). Além disso, o indicador de “*staytime*” apresentado se ao tempo médio de permanência dos itens no depósito regional.

Replicação	1	2	3	4	LI	Média	LS
Total de itens vendidos	16.985	17.126	17.117	17.296	16.929	17.131	17.334
Total de itens demandados	23.812	23.995	24.125	24.085	23.783	24.004	24.226
Nº rupturas total	6.827	6.869	7.008	6.789	6.721	6.873	7.025
Rupturas (%)	28,67%	28,63%	29,05%	28,19%	28,26%	28,63%	29,00%
<i>Staytime</i> Depósito Regional	17,91	20,28	17,58	19,13	16,80	18,70	20,70
Estoque Depósito Regional	136	158,90	135,39	150,75	127	145	164
Total de itens departamentos	423,25	437,12	397,76	455,91	435,00	427,00	420,00
Total de itens depósito	2.872	2.847	2.897	2.854	2.844	2.869	2.893
Estoque médio no período	3.295,91	3.284,31	3.295,31	3.310,34	3279	3296	3313
Custo do estoque médio (\$)	3.295,91	3.284,31	3.295,31	3.310,34	3279,0	3.296,0	3.313,0
Receita bruta (\$)	33.970,0	34.252,0	34.234,0	34.592,0	33.858,0	34.262,0	34.668,0
Giro de estoque	10,31	10,43	10,39	10,45	10,33	10,40	10,46
Custo dos produtos (\$)	16.985	17.126	17.117	17.296	16.929	17.131	17.334
Receita operacional (\$)	16.985,0	17.126,0	17.117	17.296	16.929	17.131	17.334
Lucro líquido (\$)	2.038,2	2.055,1	2.054,0	2.075,5	2.031,5	2.055,7	2.080,1
Despesa operacional (\$)	14.946,8	15.070,9	15.063,0	15.220,4	14.897,5	15.075,3	15.253,9
Retorno sobre o Investimento	62%	63%	62%	63%	62%	62%	63%

Figura 3 Resultados encontrados na situação inicial.
Fonte: Autor (2016).

A situação inicial deu ainda origem à tabela presente no Apêndice G deste trabalho, contendo os resultados de pedidos, vendas e rupturas detalhados por produto, a partir dos quais calculou-se a venda média diária e as quantidades a serem utilizadas como referencial na situação final (equivalente ao valor arredondado de 20 vezes a média diária de venda).

Os resultados da situação final foram estruturados da mesma forma, para posterior comparação. Nesse caso, no entanto, utilizou-se a despesa operacional média encontrada na situação inicial, dado que o autor descreve que as despesas não foram alteradas na mudança de cenário. Ou seja, a partir da despesa de \$ 15.075,28 foi possível calcular o lucro líquido da situação final.

Os resultados obtidos permitiram a comparação entre as situações inicial e final. As médias encontradas nos principais indicadores de desempenho de cada situação foram postas lado a lado na Figura 5. O lucro líquido médio apresentado em percentual foi calculado através da divisão entre o lucro líquido em unidades monetárias e a receita bruta obtida. Como pode ser observado houve aumento no total de itens vendidos e diminuição importante nas rupturas, ou seja, existe uma relação causal entre os mesmos. Observou-se também redução no estoque médio e, como consequência, aumento nos indicadores de desempenho.

Replicação	1	2	3	4	LI	Média	LS
Total de itens vendidos	23.579	23.614	23.695	23.656	23.556	23.636	23.716
Total de itens demandados	23.911	23.949	24.063	24.033	23.876	23.989	24.102
Nº rupturas total	332	335	368	377	317	353	389
Rupturas (%)	1,39%	1,40%	1,53%	1,57%	1,33%	1,47%	1,61%
Staytime Depósito Regional	0	0	0	0	0	0	0
Estoque Depósito Regional	0	0	0	0	0	0	0
Total de itens departamentos	473,79	474,04	473,72	474,00	584,29	584,25	584,21
Total de itens depósito	1.114,32	1.114,71	1.114,52	1.114,35	1.003,79	1.004,18	1.004,57
Estoque médio no período	1.588,11	1.588,75	1.588,24	1.588,35	1588,08	1588,43	1588,78
Custo do estoque médio (\$)	1.588,11	1.588,75	1.588,24	1.588,35	1588,08	1.588,43	1.588,78
Receita bruta (\$)	47.158	47.228	47.390	47.312	47.112	47.270	47.432
Giro de estoque	29,69	29,73	29,84	29,79	29,67	29,76	29,85
Custo dos produtos (\$)	23.579	23.614	23.695	23.656	23.556	23.636	23.716
Receita operacional (\$)	23.579	23.614	23.695	23.656	23.556	23.636	23.716
Lucro líquido (\$)	8.503,7	8.538,7	8.619,7	8.580,7	8.480,7	8.560,7	8.640,7
Retorno sobre o Investimento	535%	537%	543%	540%	534%	539%	544%

Figura 4 Resultados encontrados na situação final.
Fonte: Autor (2016).

	Situação inicial	Situação final	Comparação
Total de itens vendidos	17131	23636	+38,0%
Rupturas (%)	28,63%	1,47%	-94,9%
Estoque médio no período	3.296	1.588,43	-51,8%
Giro de estoque	10,40	29,76	+2,86 vezes
Lucro líquido médio (%)	6,0%	18,1%	+3,02 vezes
Retorno sobre o Investimento	62%	539%	+8,64 vezes

Figura 5 Comparação dos resultados da situação inicial e final.
Fonte: Autor (2016).

Os resultados da Figura 5 podem ser discutidos através das assertivas do modelo conceitual. Em relação à assertiva 1 (*Rupturas entre 25% e 33% dos itens na situação inicial*), encontrou-se uma média de 28,63% de rupturas na situação inicial. Assim, foi validada a primeira assertiva, também relacionada à validação do modelo computacional desenvolvido.

Em relação à assertiva 2 (*Rupturas inferiores a 10% na situação final*), o livro apresentava uma queda no número de rupturas da situação final para um valor inferior a 10% dos pedidos demandados. No modelo proposto, foi encontrado um percentual de rupturas de 1,47%. Embora esse valor seja bem inferior ao descrito no livro, sabe-se as rupturas constituem um indicador do tipo “menor é melhor” e, portanto, aceitou-se o resultado e a assertiva foi validada. Ademais, os resultados referentes à assertiva 3 (*Aumento das vendas entre 20 e 30%*) mostram que na situação inicial foram vendidos 17131 itens ao longo de um

ano de simulação, enquanto na situação final os itens vendidos totalizaram 23636. Isso representa um aumento de 38% nas vendas, naturalmente maior que o descrito no livro, dado que a situação final apresentou percentual de rupturas muito inferior ao esperado. O número de vendas é um indicador do tipo “maior é melhor”, validando a assertiva 3.

Já a assertiva 4 (*Estoque na situação final deve ser igual a 20 vezes a média diária das vendas obtidas na situação inicial*) apresentava duas informações sobre estoque da situação final, quando comparado ao da situação inicial. A primeira dizia que o estoque final se reduziu a 1/4 do estoque da situação final; já segunda, que o estoque final foi elaborado de modo a ser igual a 20 vezes a média diária das vendas iniciais. Durante a construção da situação final, optou-se por utilizar a média das vendas na construção de uma tabela referencial de estoque e a assertiva foi validada. No entanto, os resultados demonstram que a situação final encontrada possui estoque 51,8% do inicial. Isso se deve à decisão tomada de utilizar a segunda informação apresentada pelo livro como elaboração do estoque final.

A assertiva 5 (*Giro de estoque de 6 vezes ao ano na situação inicial para 30 vezes ao ano na situação final*) foi atendida parcialmente, uma vez que os resultados apresentaram giro inicial de 10,40 para 29,76 na situação final, um aumento de 2,86 vezes. Essa comparação é menor que a descrita no livro (aumento de 5 vezes), mas é se deve ao fato de que o estoque da situação inicial do modelo é menor que o descrito no livro e, por isso, o estoque encontrado na situação final é aproximadamente 1/2 do estoque da situação inicial, e não 1/4 como descrito no livro; conseqüentemente, a diferença entre os giros de estoque foi menor.

Quanto à assertiva 6 (*Aumento do lucro líquido médio de 6% para 17,4%*), tem-se que o lucro líquido médio da situação inicial considerado foi o descrito no livro, igual a 6% da receita bruta. Posto que a despesa operacional não foi alterada o lucro líquido calculado para a situação final foi calculado de forma correta e resultou em 18,1% da receita bruta, próximo a 17,4% descrito no livro. Sendo assim, a assertiva 6 também foi validada. O lucro líquido da situação final 3,02 vezes maior que o lucro líquido inicial representa significativa melhora de desempenho.

Por fim, quanto à assertiva 7 (*Retorno sobre o Investimento 10 vezes maior que na situação inicial*), o RSI, calculado na divisão entre o lucro líquido e o valor de inventário, aumentou 8,64 vezes da situação inicial para a situação final, aproximadamente o aumento de 10 vezes descrito no livro. Admitiu-se válida, portanto, a assertiva 7. Esse resultado é diretamente ligado à diminuição do estoque e aumento das vendas, sem que aumentasse a despesa operacional.

As assertivas levantadas e seus resultados demonstram a melhora do desempenho da cadeia de suprimentos na situação final. Menores estoques representam menores custos, bem como mais vendas implicam em maior ganho. Um maior giro de estoque traz as vantagens de maior rotatividade entre os produtos, que não envelhecem nas prateleiras, menor necessidade de espaço para armazenamento e menores riscos. Ademais, o aumento do retorno sobre o investimento evidencia o aumento da eficiência da cadeia de suprimentos e é relacionado por Goldratt (2011) à capacidade de expansão da rede.

Outra medida observada é o conteúdo médio do Depósito Regional e seu *staytime*. Apesar de nomeada no modelo como “Depósito Regional”, essa fila abriga todos os produtos que foram pedidos pela loja para reposição, mas ainda não ingressaram no seu estoque. Isso ocorre em muitos momentos quando o depósito da loja está cheio e não pode mais receber produtos, gerando a fila de espera no DR. A ideia foi representar no modelo a situação exposta no livro em que alguns produtos são encomendados, mas não chegam à loja por motivos diversos. Na situação inicial, o depósito regional apresentou *staytime* igual a 18,7 dias e estoque médio igual a 145 SKUs (equivalente a 1450 itens). Isso significa dizer que os produtos encomendados ficam em média 18,7 dias parados até que consigam chegar à loja, o que explica um alto número de rupturas, para produtos que já foram encomendados, mas não foram reabastecidos ainda, porque o depósito da loja está cheio de produtos que não estão sendo demandados. Por outro lado, a situação final apresentou *staytime* e estoque médios menores, representando que todas as reposições solicitadas pela loja ao depósito regional são entregues no tempo correto. A mudança foi possível porque, nessa situação, a loja possui menor estoque permitindo manter apenas os produtos que estão sendo pedidos pelos clientes, diminuindo o número de rupturas.

Essa melhora é fruto apenas da proposta da TOC de operar a logística do varejo de modo a minimizar os excessos de estoque, disponibilizando produtos apenas onde e quando forem necessários, minimizando conseqüentemente as rupturas. É importante pontuar que a situação proposta pelo cenário 3 descrito na seção 4.1 e no Apêndice A não foi investigada, na qual é proposto o aumento do número de produtos oferecidos, o aumento do número médio de produtos comprados por cliente e fidelização dos clientes. Segundo Goldratt (2011), nessa situação, o impacto gerado pode ser exponencial, ainda maior que o mensurado nas análises conduzidas, uma vez que a redução de rupturas aumenta a satisfação dos clientes, que compram mais; já o reabastecimento mais rápido permite ajustar o *mix* de produtos à demanda real; por fim, a diminuição dos estoques melhora o *display* da loja e permite aumento no portfólio dos produtos, podendo aumentar ainda mais as vendas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tema central deste trabalho é a análise da cadeia de suprimentos do varejo, assumindo como problema de pesquisa o desafio de reunir três importantes áreas do conhecimento e atuação da Engenharia de Produção – o gerenciamento da cadeia de suprimentos, a Teoria das Restrições e a modelagem e simulação. Para tanto, foram estudados os princípios da TOC presentes na literatura, as principais medidas de desempenho de uma rede de suprimentos, os problemas encontrados no varejo e as metodologias de simulação já propostas. Foram sistematizados os eventos narrados no livro “Não é óbvio? - A Teoria das Restrições (TOC) em uma história do mundo dos negócios” de Goldratt (2011) e foi elaborado, verificado e validado um modelo computacional que representou o caso do livro. O objetivo deste artigo foi testar em ambiente computacional as ideias da aplicação da TOC em uma loja de uma na cadeia de suprimentos do varejo do livro “Não é óbvio”.

Na comparação das situações inicial e final, destaca-se como resultados operacionais encontrados a redução de 94,9% no percentual de rupturas e como resultados nas medidas de desempenho adotadas pela TOC o aumento do giro de estoque de 10,4 para 29,76 vezes ao ano, aumento do lucro líquido médio de 6% para 18,1% e, por fim, um retorno sobre o investimento 8,64 vezes maior. Esses resultados comprovaram os efeitos da TOC em relação à cadeia de suprimentos do varejo, constituindo-se um achado de relevância teórica e prática. A relevância teórica desta comprovação está associada à aplicabilidade da TOC em uma cadeia de suprimentos, que representa um passo da aplicação de para além do chão de fábrica. A importância prática está relacionada ao resultado do modelo como solução ao principal dilema do varejo entre manter altos níveis de estoque a um custo elevado ou arcar com muitas rupturas.

Pode-se supor que em outras aplicações teóricas ou práticas poderão ser encontrados esses efeitos positivos, dado que muitos parâmetros tiveram de ser definidos na construção do modelo devido à ausência de informações sobre a situação inicial na narrativa do autor. Assim, sugere-se em futuras pesquisas a aplicação em uma situação real das mudanças propostas pela TOC, que permita testar os efeitos narrados em situações com distintas frequências de entregas, demandas por produto, número de rupturas, margens de lucro, entre outros, bem como ampliar a análise para toda a cadeia de lojas de uma rede varejista. Ademais, sabe-se que a abrangência de livros romancesados como “Não é óbvio” é maior que de artigos científicos, atingindo outros públicos e divulgando mais suas ideias. Essa abordagem é válida, sem dúvidas, e percebe-se a importância do desenvolvimento de outros trabalhos como esse, como um respaldo de rigor científico para as ideias publicadas.

6 REFERÊNCIAS

AGUIAR, F. H. O de; SAMPAIO, M. Identificação dos fatores que afetam a ruptura de estoque utilizando análise de agrupamentos. **Production**, v. 24, n. 1, p. 57-70, 2014.

BERTRAND, J. W. M; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.

BLACKSTONE, J. H. Jr. Revisão de literatura sobre tambor-pulmão-corda, gerenciamento de pulmões e distribuição. In: COX III, J. F; SCHLEIER, J. G. (Org). **Handbook da Teoria das Restrições**. Trad. Beth Honorato. Porto Alegre: Bookman, 2013. cap. 7, p. 151-178.

CAMPUS, D. F; SILVA, A. B. Análise do nível de serviço prestado às pequenas empresas varejistas do segmento alimentar. **RAI - Revista de Administração e Inovação**, v. 4, n. 2, p. 82-99, 2007.

CHING, H. Y. **Gestão de estoques na cadeia de logística integrada**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. Trad. Ez2 Translate. Tradução da 4. ed. americana. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: Teoria & Aplicações**. 3. ed. São Paulo: Ed. do Autor, 2010.

COELHO, L. C; FOLLMANN, N.; RODRIGUEZ, C. M. T. O impacto do compartilhamento de informações do efeito chicote na cadeia de abastecimento. **Gestão & Produção**, v. 16, n. 4, p. 571-583, 2009.

CORONADO, Osmar. **Logística integrada: modelo de gestão**. São Paulo: Atlas, 2007.

CORRÊA, H. L. **Administração de Cadeias de Suprimento e Logística: O Essencial**. São Paulo: Atlas, 2014.

CORRÊA, H. L. **Gestão de redes de suprimento: Integrando cadeias de suprimento no mundo globalizado**. São Paulo: Atlas, 2010.

CORREIA, R. R. et al. Simulação do fluxo de ônibus no terminal de integração do varadouro: um estudo computacional. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32., 2012, Bento Gonçalves. **Anais eletrônicos...** Bento Gonçalves: Abepro, 2012. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_TN_STP_162_946_19581.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2016.

COX III, J. F. et al. **The Theory of Constraints International Certification Organization dictionary**, 2. ed. Disponível em:

<http://c.ybcdn.com/sites/www.tocico.org/resource/resmgr/dictionary/tocico_dictionary_2nd_editio.pdf?hhSearchTerms=%22dictionary%22>. Acesso em: 10 abr. 2016.

COX III, J. F.; SPENCER, M. S. Prefácio de Eliyahu M. Goldratt. Trad. Fernanda Kohmann Dietrich. **Manual da teoria das restrições**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

FIORIOILLI, J. C.; FOGLIATTO, F. S. Modelagem do efeito chicote em ambientes com demanda e lead time estocásticos mediante uma nova política de tratamento dos excessos de estoque. **Produção**, v. 19, n. 1, p. 027-040, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A meta: Teoria das Restrições (TOC) aplicada à indústria**. 3. ed. São Paulo: Nobel, 2014.

GOLDRATT, E. M. **Não é óbvio?: A Teoria das Restrições (TOC) em uma história do mundo dos negócios**. São Paulo: Nobel, 2011.

GOLDRATT, E. M. Introdução à TOC: minha visão. In: COX III, J. F.; SCHLEIER, J. G. (Org). **Handbook da Teoria das Restrições**. Trad. Beth Honorato. Porto Alegre: Bookman, 2013. cap. 1, p. 4-9.

GUERREIRO, R. **A meta da empresa – seu alcance sem mistérios**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

HARREL, C.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. **Simulation using ProModel**. New York: McGrawHill, 2011.

IKEZIRI, L. M.; SOUZA, F. B. Gestão de demanda em cadeia de suprimentos: uma abordagem sob a perspectiva da teoria das restrições. SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2015, Bauru. **Anais eletrônicos...** Bauru: Unesp, 2015. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=10>. Acesso em 17 mar. 2016.

JACOBS, F.R.; CHASE, R. C. **Administração de operações e da cadeia de suprimentos**. 13. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

LACERDA, D. P.; CASSEL, R. A.; RODRIGUES, L. H. Service process analysis using process engineering and the theory of constraints thinking process. **Business Process Management Journal**, v. 16, n. 2, p. 262-281, 2010.

LAW, A. M. How to conduct a successful simulation study. Proceedings of the Winter Simulation Conference, p. 66 – 70, 2003. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1261409>> Acesso em: 10 de maio de 2016.

LEVY, M; WEITZ, B. A. Trad. Erika Suzuki. **Administração do varejo**. São Paulo: Atlas, 2000.

MERLO, E. M. (Org). **Administração de varejo com foco em casos brasileiros**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MOELLMANN, A. H. **Aplicação da teoria das restrições no gerenciamento da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2010.

PACHECO, D. A. de J. Teoria das restrições, Lean manufacturing e Seis sigma: limites e possibilidades de integração. **Production**, v. 24, n. 4, p. 940-956, 2014.

SABBADINI, F; GONÇALVES, A; DE OLIVEIRA, M. A aplicação da teoria das restrições (TOC) e da simulação na gestão da capacidade de atendimento em hospital de emergência. **Revista Produção**, v. 6, n. 3, p. 51-70, 2006.

SAGGIORO, E.; LACERDA, L.; AROZO, R. Gerenciando incertezas no planejamento logístico – o papel do estoque de segurança. In: FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. (Org). **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: Planejamento do fluxo de produtos e dos recursos**. 1. ed. 6. reimpr. São Paulo: Atlas, 2010, cap. 28.

SANTOS, R. F. dos; ALVES, J. M. Proposta de um modelo de gestão integrada da cadeia de suprimentos: aplicação no segmento de eletrodomésticos. **Production**, v. 25, n. 1, p. 125-142, 2015.

SCHAFRANSK, L. E.; TUBINO, D. F. **Simulação empresarial em gestão da produção - Desenvolvendo um laboratório de planejamento e controle da produção através de jogos empresariais**. São Paulo: Atlas, 2013.

SCHRAGENHEIM, A. Gerenciamento da cadeia de suprimentos. In: COX III, J. F; SCHLEIER, J. G. (Org). **Handbook da Teoria das Restrições**. Trad. Beth Honorato. Porto Alegre: Bookman, 2013. cap. 11, p. 274-311.

SOUZA, F. B; BAPTISTA, H. R. Proposta de avanço para o método Tambor-Pulmão-Corda Simplificado aplicado em ambientes de produção sob encomenda. **Gestão e Produção**, v. 17, n. 4, p. 735-746, 2010.

SOUZA, F. B; CHIMINAZZO, M.; PIRES, S. R. I. Um estudo teórico sobre a aplicação da teoria das restrições na gestão da cadeia de suprimentos. SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 12., 2005, Bauru. **Anais eletrônicos...** Bauru: Unesp, 2005. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep_aux.php?e=12>. Acesso em 29 mai. 2016.

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

TURRIONI, J. B; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas**. Itajubá: Unifei, 2012.

VARGAS, F. J. T; PAGLIONE, P. **Ferramentas de álgebra computacional: aplicações em modelagem, simulação e controle para engenharia**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

WANKE, P. Logística, gerenciamento de cadeias de suprimentos e organização do fluxo de produtos. In: FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. (Org). **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: Planejamento do fluxo de produtos e dos recursos**. 1. ed. 6. reimpr. São Paulo: Atlas, 2010, cap. 1, p. 27-47.

APÊNDICE A – SISTEMATIZAÇÃO DO LIVRO “NÃO É ÓBVIO?”

Cenário	Evento	Causa	Contexto	Ação tomada	Resultados descritos
Cenário inicial	Loja Boca Raton (LBR) na 8ª posição de 10 lojas da região, sendo a pior colocação até então (p. 8 e 9). Empresa familiar em processo de sucessão. A loja tem 3250m² e 6 departamentos com localização ruim (shopping velho e feio) e clientela formada por senhoras velhas e ricas. Empresa focada em classe média (p. 17). Grande variedade: Cama, Mesa, Banho, Carpetes e Cortinas. Dilema posto: vendas vs estoque em excesso. Perda de vendas em caso de rupturas (falta de disponibilidade de um produto no momento em que ele é demandado) (p. 55) Estoque para 4 meses em média (p. 95). A LBR deveria manter me estoque 2000 SKUs e tem rupturas entre 1/4 e 1/3 dos SKUs, sendo que destes a maioria são dos que mais vendem. O lucro médio sobre as vendas era de 6% sobre as vendas (p. 60). Resultado em janeiro de 3,2% de lucro. Loja que estava em 1º lugar lucro de 7% sobre as vendas.				
Cenário intermediário	Impossibilidade de manter o estoque no depósito.	Estouro no encanamento e vazamento no depósito do shopping (p. 21)	6 a 7 semanas para reparar encanamento; depósitos locais caros demais; (p.25)	Enviar todo estoque para o depósito regional (p.27); Imprimir venda média diária de cada SKU (p. 30); Manter apenas 20 vezes a média diária (p. 32); Depósito regional (DR) enviará unidades individuais de acordo com pedidos da loja (p.32);	Redução do estoque para 1/4 da situação original;
	Alteração do procedimento do DR	Necessidade de envio para LBR em quantidades menores que 1 SKU.	Os gerentes solicitaram quantidades maiores que a venda de 1 dia (utilizando critérios diversos) para encher as prateleiras que ficaram vazias; usualmente, o DR envia SKUs em grandes quantidades.	Gerente deve elaborar uma única lista para todos os pedidos do dia (p.41); A regra de reposição diária deve ser: repor apenas a quantidade que foi vendida no dia (p. 43) Reposição = quantidade a ser mantida em estoque (20 dias) - quantidade vendida no dia.	
	20 a 30% a mais de vendas diárias (p. 52), menos rupturas;	Envio de estoque residual do DR (p. 59), o que foi possível pela alteração da forma de solicitação pela LBR. Apesar de as demais lojas solicitarem os mesmos SKUs não os recebiam, pois demandavam em quantidades grandes.	Centenas de SKUs a mais na loja (p. 55); a receita gerada pelos SKUs com ruptura no mês anterior resultou no aumento das vendas (p. 58); o lucro médio sobre as vendas era de 6% (p.60); custos de <i>overhead</i> iguais ao mês passado (p.64); <i>markup</i> total das vendas extras direto para o lucro líquido (p. 65);		Loja em primeiro lugar na região (p. 51); Lucro de 17,4% (p.61); RSI da loja 10x melhor do que era (p. 90); giro de estoque acima de 30 por ano (p. 96): Lucratividade 3 a 4x a de uma loja média e estoques 1/4 do que eram (p. 90); Para calcular o giro de estoque, dividir as vendas anuais da loja pelo custo médio do estoque mantido; como mantém em média quatro meses de estoque, com markup por volta de 100%, o giro tradicional era +/- 6 por ano (p. 95) passou para 30 por ano.

Cenário Final	Rupturas voltando lentamente (p.77)	Estoque residual do depósito central chegando ao fim (p. 77)	O depósito regional mantém estoque residual para +/- 1.500 SKUs.	Pedir itens dos estoques residuais dos outros 9 depósitos da rede (p. 78); Procurar listas inteiras de SKUs para envios cruzados (p.79)	DR consegue envios cruzados e continua suprindo as demandas da LBR em unidades individuais.
	Análise da estratégia atual	SKUs que vendem muito acabavam ao final do dia (p. 96)	Ajustar os estoques-alvo para serem mais sensatos (p. 99)	Colocar o limite a um terço do alvo; quando o estoque cair para menos de 1/3 do alvo, chamar a situação de vermelha; se por uma semana a cor for vermelha, chamar de alerta vermelho e aumentar o alvo; quando o estoque estiver acima de 2/3 do alvo, chamar a situação de verde; se a situação ficar verde por pelo menos 2 semanas, reduzir o estoque alvo; chamar de amarela a zona entre vermelho e verde, na qual se tem a quantidade certa de estoque (p. 100);	Oportunidade de vender SKUs adicionais (p. 103)
	Interpretação da cadeia inicial (p.128)	O estoque diminui gradativamente a medida que a loja vende; o sistema gera um pedido de ressuprimento apenas quando ele atinge o nível mínimo pré-determinado (p.128); O tempo de produção é de 3 meses, o tempo de entrega do fornecedor é de 6 a 7 semanas (p. 129); a diferença entre as quantidades pedidas pelas lojas e as compradas é armazenada nos depósitos regionais (p.131); as lojas sofrem uma média de 30% de rupturas e para 68% dos SKUs que faltam em uma loja há nas outras lojas mais de dois meses de estoque desses SKUs (p. 134);			
	Interpretação da cadeia proposta (p.128)	O lead time de fornecimento para o depósito é longo (produção + transporte marítimo), mas o fornecimento para a loja é apenas o tempo para trazer do depósito, apenas alguns dias); deve-se manter não mais que duas semanas nas lojas; como o depósito atende várias lojas, sua variabilidade é menor que a variabilidade individual de cada loja (p. 132); não se deve esperar até pedir um lote econômico, mas pedir imediatamente após o consumo (p. 133); fazer envios cruzados entre as regiões: 3 de 4 tentativas são bem sucedidas: baixa as rupturas de 30% para menos de 10% (p.135); começar a implantar o novo método em 2 lojas por semana (p. 138);			
	Negociação entre compras e fornecedores para envio de pequenas quantidades (p. 151)	Rupturas do depósito regional (p. 142); Depois de 3 a 4 envios cruzados de um mesmo SKU, não há mais estoque dele em outra região (p. 143)	Grandes quantidades são essenciais na tecelagem e no tingimento do tecido, mas na costura pequenas quantidades são normais; isso permite reagir mais rápido às rupturas e reduzir o lead time de produção (p.153);	Tentar com o setor de compras prioridade para os itens de alto giro da região (p. 144)	Região em 1 lugar no relatório mensal; Depósito mantém 4x mais estoque que suas lojas, mas cada loja mantém +/- 500 SKUs a mais que antes (p. 147)

	Necessidade de um depósito central (DC)	Muitos envios cruzados entre os depósitos mostram que uma quantidade significativa da mercadoria está no lugar errado (p. 162)	Transporte até os DRs demora no máx. 1 semana; ressuprir lojas e depósitos de acordo com as vendas diárias (p. 162); A demanda de um DR é a demanda agregada de todas as lojas que ele serve; como são 10 lojas/região, a previsão no DR é 3x melhor que em cada loja; previsão no DC agrega as 10 regiões, então também é 3x melhor; Redes de varejo não deveriam manter estoques no pior nível de previsão (nas lojas), mas mantê-los no melhor nível de previsão (DC); e usar a flexibilidade do curto tempo de ressuprimento para enviar a mercadoria onde é necessária (p. 167)	Criar um depósito central (DC) próximo ao porto e enviar estoque para os depósitos regionais baseado no consumo real (p. 162)	Expansão da estrutura da cadeia de suprimentos do nível regional (concentração do estoque no DR e envios de pequenas quantidades para as lojas em maior frequência de entrega) para nível nacional (concentração dos estoques no depósito central e envios frequentes para os depósitos regionais da rede).
	Expandir as soluções da desconexão interna a nível de fornecedores (p. 167)	Problema da desconexão externa	Manter estoques no ponto no qual a previsão é melhor: ponto do tecido tingido; fornecedores têm flexibilidade a partir dessa etapa; o risco de comprar muito ou pouco é menor no estágio do tecido tingido (p. 169);	Enviar pedidos de acordo com o consumo real do DC; fazer pedidos pequenos (semanais), com antecedência igual ao tempo de transporte + 1 semana para cortar e costurar (p. 168); mudar a relação fornecedores de têxteis x varejistas para parcerias; dar aos fornecedores bônus para atingir prazos pré-determinados, para confiar na entrega (p.170); bônus deve ser em proporção ao giro de estoque do produto do fornecedor e, para que tenha direito, o desempenho não pode ser menor que 95% nos últimos 3 meses (p. 171);	Não descritos no livro.

Figura 6 Sistematização do livro "Não é óbvio?" - Modelo abstrato.

Fonte: Autor (2016).

APÊNDICE B – MODELO COMPUTACIONAL ELABORADO APÓS RODADA A SITUAÇÃO INICIAL

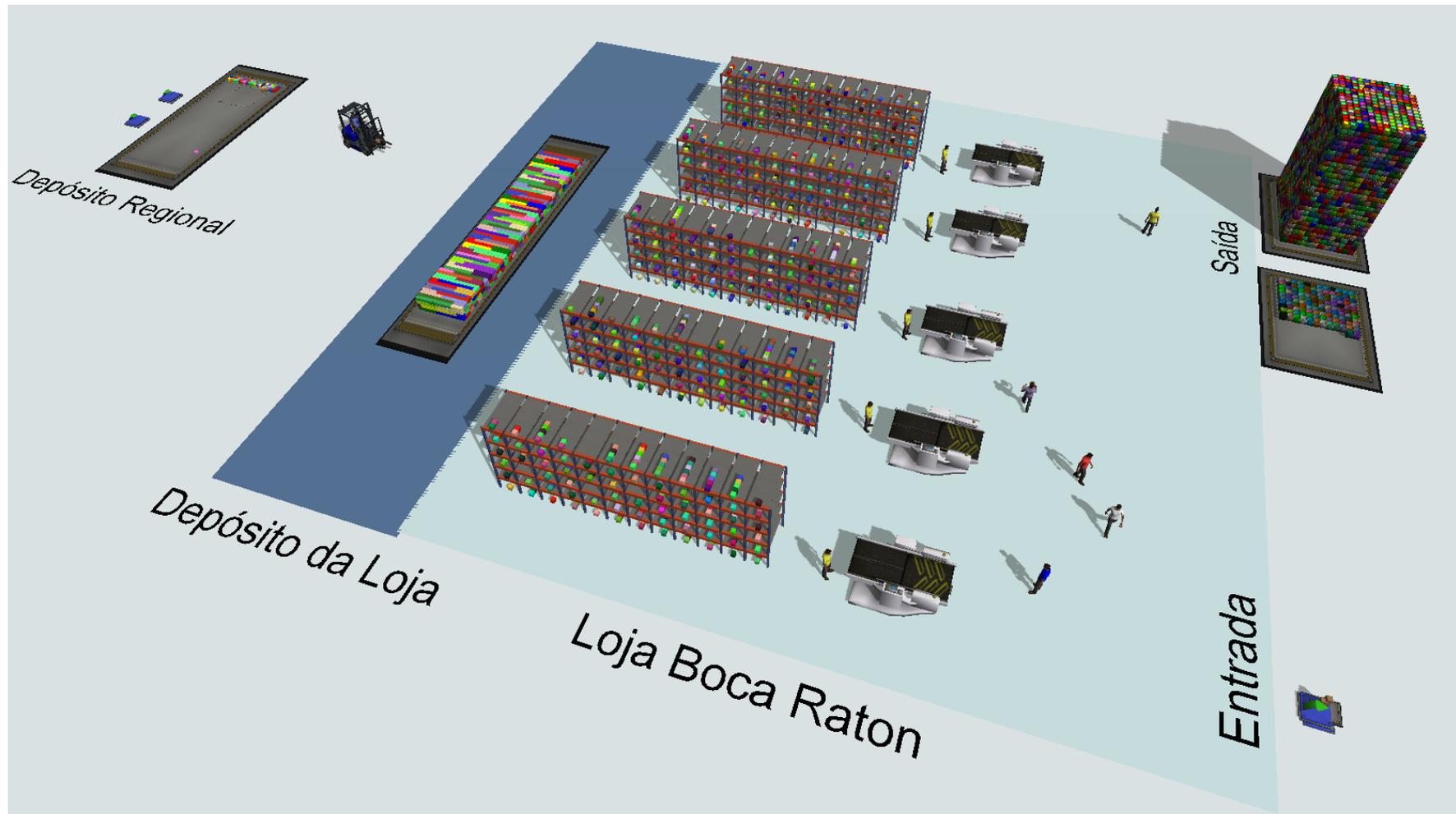


Figura 7 Modelo computacional elaborado, após rodada a situação inicial.

Fonte: Autor (2016).

APÊNDICE C – QUANTIDADES DE SKUS POR PRODUTO GERADOS EM T=0 NA SITUAÇÃO INICIAL

Fonte G		40	1	81	25	122	15	164	10
Produto	SKUs	41	25	82	15	123	12	165	7
1	25	42	15	83	12	124	10	166	5
2	15	43	12	84	10	125	7	167	2
3	12	44	10	85	7	126	5	168	2
4	10	45	7	86	5	127	2	169	2
5	7	46	5	87	2	128	2	170	2
6	5	47	2	88	2	129	2	171	1
7	2	48	2	89	2	130	2	172	1
8	2	49	2	90	2	131	1	173	1
9	2	50	2	91	1	132	1	174	1
10	2	51	1	92	1	133	1	175	1
11	1	52	1	93	1	134	1	176	1
12	1	53	1	94	1	135	1	177	1
13	1	54	1	95	1	136	1	178	1
14	1	55	1	96	1	137	1	179	1
15	1	56	1	97	1	138	1	180	1
16	1	57	1	98	1	139	1	181	1
17	1	58	1	99	1	140	1	182	1
18	1	59	1	100	1	141	1	183	1
19	1	60	1	101	1	142	1	184	1
20	1	61	1	102	1	143	1	185	1
21	1	62	1	103	1	144	1	186	1
22	1	63	1	104	1	145	1	187	1
23	1	64	1	105	1	146	1	188	1
24	1	65	1	106	1	147	1	189	1
25	1	66	1	107	1	148	1	190	1
26	1	67	1	108	1	149	1	191	1
27	1	68	1	109	1	150	1	192	1
28	1	69	1	110	1	151	1	193	1
29	1	70	1	111	1	152	1	194	1
30	1	71	1	112	1	153	1	195	1
31	1	72	1	113	1	154	1	196	1
32	1	73	1	114	1	155	1	197	1
33	1	74	1	115	1	156	1	198	1
34	1	75	1	116	1	157	1	199	1
35	1	76	1	117	1	158	1	200	1
36	1	77	1	118	1	159	1		
37	1	78	1	119	1	160	1		
38	1	79	1	120	1	161	25		
39	1	80	1	121	25	162	15		
						163	12		

Figura 3 Quantidades de SKUs por produto na Fonte G.

Fonte: Autor (2016).

APÊNDICE D – DISTRIBUIÇÃO DA REPRESENTATIVIDADE DE CADA PRODUTO NA DEMANDA

SKU	Departamento	Represent. (%)
1	1	5,00
2	1	3,00
3	1	2,50
4	1	2,00
5	1	1,50
6	1	1,00
7	1	0,50
8	1	0,50
9	1	0,25
10	1	0,25
11	1	0,20
12	1	0,20
13	1	0,20
14	1	0,20
15	1	0,20
16	1	0,20
17	1	0,20
18	1	0,20
19	1	0,15
20	1	0,15
21	1	0,10
22	1	0,10
23	1	0,10
24	1	0,10
25	1	0,10
26	1	0,10
27	1	0,10
28	1	0,10
29	1	0,10
30	1	0,10
31	1	0,10
32	1	0,10
33	1	0,10
34	1	0,10
35	1	0,08
36	1	0,05
37	1	0,02
38	1	0,02
39	1	0,02

40	1	0,01
41	2	5,00
42	2	3,00
43	2	2,50
44	2	2,00
45	2	1,50
46	2	1,00
47	2	0,50
48	2	0,50
49	2	0,25
50	2	0,25
51	2	0,20
52	2	0,20
53	2	0,20
54	2	0,20
55	2	0,20
56	2	0,20
57	2	0,20
58	2	0,20
59	2	0,15
60	2	0,15
61	2	0,10
62	2	0,10
63	2	0,10
64	2	0,10
65	2	0,10
66	2	0,10
67	2	0,10
68	2	0,10
69	2	0,10
70	2	0,10
71	2	0,10
72	2	0,10
73	2	0,10
74	2	0,10
75	2	0,08
76	2	0,05
77	2	0,02
78	2	0,02
79	2	0,02
80	2	0,01

81	3	5,00
82	3	3,00
83	3	2,50
84	3	2,00
85	3	1,50
86	3	1,00
87	3	0,50
88	3	0,50
89	3	0,25
90	3	0,25
91	3	0,20
92	3	0,20
93	3	0,20
94	3	0,20
95	3	0,20
96	3	0,20
97	3	0,20
98	3	0,20
99	3	0,15
100	3	0,15
101	3	0,10
102	3	0,10
103	3	0,10
104	3	0,10
105	3	0,10
106	3	0,10
107	3	0,10
108	3	0,10
109	3	0,10
110	3	0,10
111	3	0,10
112	3	0,10
113	3	0,10
114	3	0,10
115	3	0,08
116	3	0,05
117	3	0,02
118	3	0,02
119	3	0,02
120	3	0,01
121	4	5,00

122	4	3,00
123	4	2,50
124	4	2,00
125	4	1,50
126	4	1,00
127	4	0,50
128	4	0,50
129	4	0,25
130	4	0,25
131	4	0,20
132	4	0,20
133	4	0,20
134	4	0,20
135	4	0,20
136	4	0,20
137	4	0,20
138	4	0,20
139	4	0,15
140	4	0,15
141	4	0,10
142	4	0,10
143	4	0,10
144	4	0,10
145	4	0,10
146	4	0,10
147	4	0,10
148	4	0,10

149	4	0,10
150	4	0,10
151	4	0,10
152	4	0,10
153	4	0,10
154	4	0,10
155	4	0,08
156	4	0,05
157	4	0,02
158	4	0,02
159	4	0,02
160	4	0,01
161	5	5,00
162	5	3,00
163	5	2,50
164	5	2,00
165	5	1,50
166	5	1,00
167	5	0,50
168	5	0,50
169	5	0,25
170	5	0,25
171	5	0,20
172	5	0,20
173	5	0,20
174	5	0,20
175	5	0,20

176	5	0,20
177	5	0,20
178	5	0,20
179	5	0,15
180	5	0,15
181	5	0,10
182	5	0,10
183	5	0,10
184	5	0,10
185	5	0,10
186	5	0,10
187	5	0,10
188	5	0,10
189	5	0,10
190	5	0,10
191	5	0,10
192	5	0,10
193	5	0,10
194	5	0,10
195	5	0,08
196	5	0,05
197	5	0,02
198	5	0,02
199	5	0,02
200	5	0,01

Figura 4 Representatividade percentual de cada produto na distribuição de demanda.

Fonte: Autor (2016).

APÊNDICE E – *SCRIPT* DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADO NO *USER EVENT* PARA REABASTECIMENTO DOS PRODUTOS

Chegada de itens:

```
treenode current = ownerobject(c);  
/**Tabela de Vendas Diárias -> Taxa de Chegada de Itens*/  
  
treenode schedule = getvarnode(node("FonteProdutos", model()), "schedule");  
  
for (int i=1; i<=(gettablerows("VendaDiaria")+1); i++)  
{  
    int venda = round((gettablenum("VendaDiaria",i,3))/10,0);  
    settablenum(schedule,i+1,4,venda);  
}
```

APÊNDICE F – RESULTADOS DAS ALTERNATIVAS TESTADAS NA VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

Alternativa	Reposição baseada em	Configurações			Reabastecimento	Capacidade			Resultados			Estoque médio
		Replicações	Run Time	Warm-up	Frequência	Dep. Reg.	Dep. Loja	Prateleira	Pedidos	Rupturas	%	Total
1	Rupturas	1	240	0	5	1000	3600	400	23923	6866	28,70%	4077,9
2	Rupturas	1	240	0	5	3000	5600	400	23849	5253	22,03%	5413,2
3	Rupturas	5	340	100	5	1000	3600	400	23956	11935	49,82%	4706
4	Rupturas	2	480	100	5	3000	5600	400	38077	18299	48,06%	6828
5	Rupturas	2	240	0	4	1000	3600	400	23798	7427	31,21%	4110
6	Rupturas	2	240	0	4	3000	5600	400	23834	5774	24,23%	5498
7	Rupturas	2	340	100	4	1000	3600	400	23904	13067	54,66%	4632
8	Rupturas	2	340	100	4	3000	5600	400	23960	11120	46,41%	6760
9	Rupturas	5	340	100	5	10000	5600	400	24021	9411	39,18%	6857
10	Rupturas	5	340	100	5	10000	4600	400	23981	10330	43,08%	5794
11	Rupturas	5	340	100	7	10000	5600	400	23930	6598	27,57%	6969
12	Rupturas	5	340	100	7	10000	4600	400	24013	7731	32,20%	5923
13	Rupturas	5	340	100	3	10000	5600	400	23961	12976	54,15%	6617
14	Rupturas	5	340	100	3	10000	3600	400	23953	13287	55,47%	4613
15	Rupturas	5	340	100	5	10000	3600	400	23956	11395	47,57%	4706
16	Rupturas	5	340	100	6	10000	3600	400	23998	10242	42,68%	4782
17	Rupturas	5	340	100	7	10000	3600	400	24004	9082	37,84%	4832
18	Rupturas	5	340	100	8	10000	3600	400	23965	7983	33,31%	4874
19	Rupturas	5	340	100	9	10000	3600	400	23990	6756	28,16%	4909
20	Rupturas	5	340	100	10	10000	3600	400	24046	5648	23,49%	4947
21	Rupturas	5	340	100	9	10000	3600	560	23954	6247	26,08%	5372
22	Rupturas	5	340	100	9	10000	2800	560	23943	8914	37,23%	4383
23	Rupturas	5	340	100	10	10000	2800	560	24002	7525	31,35%	4471
24	Rupturas	5	340	100	12	10000	2800	560	24013	5889	24,52%	4526

25	Rupturas	5	340	100	10	10000	3800	760	24093	4300	17,85%	6236
26	Rupturas	5	340	100	10	10000	3200	640	23961	5763	24,05%	5180
27	Rupturas	5	340	100	10	10000	3000	600	23933	6797	28,40%	4834
28	Vendas	5	340	100	10	10000	2800	560	24084	4122	17,12%	4865
29	Vendas	5	340	100	5	10000	2800	560	24018	5619	23,39%	4735
30	Vendas	4	340	100	4	10000	2800	560	23994	6646	27,70%	4704
31	Rupturas	5	340	100	5	10000	2800	560	24054	5552	23,08%	5000
32	Rupturas	4	340	100	9	10000	3600	560	24034	6062	25,22%	5374
33	Rupturas	4	340	100	9	10000	2800	560	24102	7111	29,50%	4472
34	Vendas	4	340	100	2	10000	3600	400	23970	8852	36,93%	3883
35	Vendas	4	340	100	2	10000	2800	560	23962	9052	37,78%	3212
36	Vendas	4	340	100	3	10000	2800	560	24004	6873	28,63%	3296
37	Vendas	4	340	100	4	10000	2800	560	24031	6095	25,36%	3341

Figura 5 Alternativas experimentadas durante validação do modelo e seus resultados

Fonte: Autor (2016).

APÊNDICE G – RESULTADOS DA SITUAÇÃO INICIAL E TABELA REFERENCIAL DE VENDA DIÁRIA

SKU	Pedidos	Rupturas	Vendas	Vendas diárias	Rupturas diárias	Venda diária média	20 * Média	Arred
1	1166	0	1166	3	0	4,86	97,2	97
2	761	0	761	6	0	3,17	63,4	63
3	579	0	579	1	0	2,41	48,3	48
4	470	0	470	1	0	1,96	39,2	39
5	366	36	330	1	3	1,38	27,5	28
6	253	73	180	0	1	0,75	15,0	15
7	118	98	20	0	0	0,08	1,7	2
8	115	95	20	0	0	0,08	1,7	2
9	56	36	20	0	0	0,08	1,7	2
10	53	33	20	0	1	0,08	1,7	2
11	46	36	10	0	0	0,04	0,8	1
12	42	32	10	0	0	0,04	0,8	1
13	54	44	10	0	0	0,04	0,8	1
14	49	39	10	0	0	0,04	0,8	1
15	48	38	10	0	0	0,04	0,8	1
16	52	42	10	0	0	0,04	0,8	1
17	49	39	10	0	0	0,04	0,8	1
18	36	26	10	0	2	0,04	0,8	1
19	26	16	10	0	0	0,04	0,8	1
20	33	23	10	0	0	0,04	0,8	1
21	19	9	10	0	0	0,04	0,8	1
22	26	16	10	0	1	0,04	0,8	1
23	28	18	10	0	0	0,04	0,8	1

24	22	12	10	0	0	0,04	0,8	1
25	29	19	10	0	0	0,04	0,8	1
26	29	19	10	0	0	0,04	0,8	1
27	26	16	10	0	0	0,04	0,8	1
28	34	24	10	0	0	0,04	0,8	1
29	19	9	10	0	0	0,04	0,8	1
30	27	17	10	0	0	0,04	0,8	1
31	19	9	10	0	0	0,04	0,8	1
32	27	17	10	0	0	0,04	0,8	1
33	21	11	10	0	0	0,04	0,8	1
34	26	16	10	0	0	0,04	0,8	1
35	18	8	10	0	0	0,04	0,8	1
36	8	0	8	0	0	0,03	0,7	1
37	5	0	5	0	0	0,02	0,4	1
38	7	0	7	0	0	0,03	0,6	1
39	7	0	7	0	0	0,03	0,6	1
40	3	0	3	0	0	0,01	0,3	1
41	1207	0	1207	3	0	5,03	100,6	101
42	709	0	709	3	0	2,95	59,1	59
43	624	0	624	3	0	2,60	52,0	52
44	456	0	456	3	0	1,90	38,0	38
45	373	0	373	1	0	1,55	31,1	31
46	236	156	80	0	0	0,33	6,7	7
47	133	113	20	0	0	0,08	1,7	2
48	113	93	20	0	0	0,08	1,7	2
49	70	50	20	0	0	0,08	1,7	2

50	55	35	20	0	0	0,08	1,7	2
51	59	49	10	0	0	0,04	0,8	1
52	44	34	10	0	0	0,04	0,8	1
53	55	45	10	0	0	0,04	0,8	1
54	51	41	10	0	0	0,04	0,8	1
55	48	38	10	0	0	0,04	0,8	1
56	38	28	10	0	0	0,04	0,8	1
57	47	37	10	0	0	0,04	0,8	1
58	49	39	10	0	0	0,04	0,8	1
59	46	36	10	0	1	0,04	0,8	1
60	35	25	10	0	0	0,04	0,8	1
61	26	16	10	0	0	0,04	0,8	1
62	31	21	10	0	0	0,04	0,8	1
63	24	14	10	0	0	0,04	0,8	1
64	30	20	10	0	0	0,04	0,8	1
65	17	7	10	0	1	0,04	0,8	1
66	21	11	10	0	0	0,04	0,8	1
67	23	13	10	0	0	0,04	0,8	1
68	27	17	10	0	0	0,04	0,8	1
69	25	15	10	0	0	0,04	0,8	1
70	24	14	10	0	0	0,04	0,8	1
71	25	15	10	0	0	0,04	0,8	1
72	21	11	10	0	0	0,04	0,8	1
73	21	11	10	0	0	0,04	0,8	1
74	26	16	10	0	0	0,04	0,8	1
75	13	3	10	0	0	0,04	0,8	1
76	6	0	6	0	0	0,03	0,5	1
77	7	0	7	0	0	0,03	0,6	1
78	10	0	10	0	0	0,04	0,8	1

79	3	0	3	0	0	0,01	0,3	1
80	1	0	1	0	0	0,00	0,1	1
81	1160	0	1160	8	0	4,83	96,7	97
82	713	0	713	6	0	2,97	59,4	59
83	546	0	546	0	0	2,28	45,5	46
84	497	0	497	3	0	2,07	41,4	41
85	361	0	361	3	0	1,50	30,1	30
86	231	121	110	0	1	0,46	9,2	9
87	112	92	20	0	1	0,08	1,7	2
88	127	107	20	0	1	0,08	1,7	2
89	78	48	30	0	1	0,13	2,5	3
90	68	48	20	0	0	0,08	1,7	2
91	58	48	10	0	0	0,04	0,8	1
92	64	54	10	0	0	0,04	0,8	1
93	41	31	10	0	0	0,04	0,8	1
94	41	31	10	0	0	0,04	0,8	1
95	39	29	10	0	0	0,04	0,8	1
96	42	32	10	0	1	0,04	0,8	1
97	39	29	10	0	0	0,04	0,8	1
98	51	41	10	0	0	0,04	0,8	1
99	47	37	10	0	1	0,04	0,8	1
100	37	27	10	0	0	0,04	0,8	1
101	23	13	10	0	0	0,04	0,8	1
102	27	17	10	0	0	0,04	0,8	1
103	19	9	10	0	0	0,04	0,8	1
104	32	22	10	0	0	0,04	0,8	1
105	16	6	10	0	0	0,04	0,8	1
106	21	11	10	0	0	0,04	0,8	1
107	17	7	10	0	0	0,04	0,8	1

108	25	15	10	0	0	0,04	0,8	1
109	26	16	10	0	0	0,04	0,8	1
110	18	8	10	0	0	0,04	0,8	1
111	25	15	10	0	0	0,04	0,8	1
112	21	11	10	0	0	0,04	0,8	1
113	19	9	10	0	0	0,04	0,8	1
114	18	8	10	0	0	0,04	0,8	1
115	15	5	10	0	0	0,04	0,8	1
116	11	1	10	0	0	0,04	0,8	1
117	5	0	5	0	0	0,02	0,4	1
118	3	0	3	0	0	0,01	0,3	1
119	3	0	3	0	0	0,01	0,3	1
120	0	0	0	0	0	0,00	0,0	1
121	1246	0	1246	9	0	5,19	103,8	104
122	740	0	740	3	0	3,08	61,7	62
123	579	0	579	2	0	2,41	48,3	48
124	440	0	440	4	0	1,83	36,7	37
125	350	0	350	1	0	1,46	29,2	29
126	261	71	190	0	2	0,79	15,8	16
127	99	79	20	0	3	0,08	1,7	2
128	113	93	20	0	1	0,08	1,7	2
129	68	48	20	0	0	0,08	1,7	2
130	61	41	20	0	0	0,08	1,7	2
131	58	48	10	0	0	0,04	0,8	1
132	42	32	10	0	0	0,04	0,8	1
133	49	39	10	0	0	0,04	0,8	1
134	39	29	10	0	0	0,04	0,8	1
135	45	35	10	0	0	0,04	0,8	1
136	42	32	10	0	0	0,04	0,8	1

137	42	32	10	0	1	0,04	0,8	1
138	45	35	10	0	0	0,04	0,8	1
139	40	30	10	0	0	0,04	0,8	1
140	40	30	10	0	0	0,04	0,8	1
141	19	9	10	0	0	0,04	0,8	1
142	22	12	10	0	0	0,04	0,8	1
143	17	7	10	0	0	0,04	0,8	1
144	22	12	10	0	0	0,04	0,8	1
145	25	15	10	0	0	0,04	0,8	1
146	30	20	10	0	0	0,04	0,8	1
147	22	12	10	0	0	0,04	0,8	1
148	21	11	10	0	0	0,04	0,8	1
149	22	12	10	0	0	0,04	0,8	1
150	19	9	10	0	0	0,04	0,8	1
151	39	29	10	0	0	0,04	0,8	1
152	33	23	10	0	0	0,04	0,8	1
153	26	16	10	0	0	0,04	0,8	1
154	22	12	10	0	0	0,04	0,8	1
155	22	12	10	0	0	0,04	0,8	1
156	12	2	10	0	0	0,04	0,8	1
157	2	0	2	0	0	0,01	0,2	1
158	4	0	4	0	0	0,02	0,3	1
159	6	0	6	0	0	0,03	0,5	1
160	1	0	1	0	0	0,00	0,1	1
161	1243	0	1243	5	0	5,18	103,6	104
162	686	0	686	2	0	2,86	57,2	57
163	639	0	639	3	0	2,66	53,3	53
164	411	0	411	2	0	1,71	34,3	34
165	365	0	365	1	0	1,52	30,4	30

166	245	95	150	0	0	0,63	12,5	13
167	122	102	20	0	0	0,08	1,7	2
168	102	82	20	0	0	0,08	1,7	2
169	57	37	20	0	1	0,08	1,7	2
170	49	29	20	0	1	0,08	1,7	2
171	45	35	10	0	0	0,04	0,8	1
172	43	33	10	0	0	0,04	0,8	1
173	40	30	10	0	0	0,04	0,8	1
174	69	59	10	0	0	0,04	0,8	1
175	67	57	10	0	0	0,04	0,8	1
176	39	29	10	0	0	0,04	0,8	1
177	36	26	10	0	0	0,04	0,8	1
178	55	45	10	0	0	0,04	0,8	1
179	36	26	10	0	1	0,04	0,8	1
180	32	22	10	0	0	0,04	0,8	1
181	38	28	10	0	0	0,04	0,8	1
182	27	17	10	0	0	0,04	0,8	1
183	32	22	10	0	0	0,04	0,8	1

184	33	23	10	0	0	0,04	0,8	1
185	31	21	10	0	0	0,04	0,8	1
186	12	2	10	0	1	0,04	0,8	1
187	30	20	10	0	0	0,04	0,8	1
188	25	15	10	0	0	0,04	0,8	1
189	32	22	10	0	0	0,04	0,8	1
190	18	8	10	0	0	0,04	0,8	1
191	20	10	10	0	0	0,04	0,8	1
192	23	13	10	0	0	0,04	0,8	1
193	28	18	10	0	0	0,04	0,8	1
194	24	14	10	0	0	0,04	0,8	1
195	22	12	10	0	0	0,04	0,8	1
196	10	0	10	0	0	0,04	0,8	1
197	4	0	4	0	0	0,02	0,3	1
198	2	0	2	0	0	0,01	0,2	1
199	4	0	4	0	0	0,02	0,3	1
200	1	0	1	1	0	0,00	0,1	1

Figura 6 Resultados de vendas e rupturas ao término da situação inicial

Fonte: Autor (2016).