

ANÁLISE DA GESTÃO DE ESTOQUES UTILIZANDO SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

INVENTORY MANAGEMENT ANALYSIS USING MONTE CARLO SIMULATION

Taís Beck¹; Michel J Anzanello²; Alessandro Kahmann³

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre – Brasil
taisbeck@gmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre – Brasil
michel.anzanello@gmail.com

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre – Brasil
alessandro.kahmann@ufrgs.br

Resumo

O presente artigo tem como objetivo simular um sistema de reposição de estoque (s, Q) a fim de verificar o efeito que alterações nas variáveis de entrada causam no nível de serviço e nos custos de gestão do estoque. Para sistematizar o método de reposição é utilizada a simulação de Monte Carlo, a qual possibilita a geração de cenários a partir da geração de variáveis aleatórias aderentes à uma distribuição de probabilidade estabelecida. Nas proposições deste artigo, inicialmente são abordados os conceitos de gestão de estoques e modelos de reposição, de forma a fornecer embasamentos para o restante do trabalho desenvolvido. Em um segundo momento, é apresentada a metodologia proposta para formular a simulação de Monte Carlo; por fim, são apresentados os resultados obtidos no estudo. A abordagem proposta permitiu avaliar os impactos que distintos pontos de pedido, lead times e tamanhos de lote possuem sobre a gestão dos estoques acerca da disponibilidade dos produtos e custos do sistema.

Palavras-chave: Sistemas de Reposição; Estoques; Simulação de Monte Carlo; Lead Time; Ponto de Reposição.

1. Introdução

Em um contexto de padrões de consumo cada vez mais diferenciados, a gestão dos estoques assume um papel de destaque para a tomada de decisão nas empresas (SANTOS; RODRIGUES, 2006). Tal gestão objetiva garantir a disponibilidade dos produtos, atendendo o nível de serviço estabelecido, e, ao mesmo tempo, não super dimensionando os estoques (ROSA *et al.*, 2010).

Buscando o equilíbrio para esse *trade-off*, muitas organizações utilizam *softwares* para apoiar o gerenciamento dos estoques através da definição de três pilares da gestão de estoques: o que pedir, quanto pedir e quando pedir de cada um dos itens (SILVA, 2009; RESENDE *et al.*, 2010).

As incertezas causadas pelas variações da demanda constantemente causam prejuízos às organizações, pois sem um entendimento dos perfis de consumo dos produtos não é possível dimensionar de forma acurada os estoques necessários, obrigando as empresas a manterem elevados estoques para mitigar os riscos. Nesse contexto de oscilações de demanda, pode-se destacar duas perdas frequentes: (i) perda por ruptura, relacionada à falta de produto para atender à demanda, e (ii) perda por superestocagem, relacionada ao super dimensionamento dos estoques. A perda por ruptura diz respeito a não realização da venda (ou seja, é o valor que a empresa deixa de ganhar por não ter o produto disponível para venda); já a perda por superestocagem refere-se a questões de administração interna da empresa, como o giro de capital que estará imobilizado devido ao grande inventário, obsolescência e perecibilidade dos produtos estocados, bem como aos custos de administração (seguro, espaço físico, manutenção e *softwares* de gestão dos estoques) (BALLOU, 2006). O primeiro ponto é intangível e dificilmente mensurado, pois se trata do custo por perder uma venda e diminuir o nível de serviço percebido pelo consumidor; nesse caso, as consequências são imprevisíveis e poderão ser prejudiciais à imagem da empresa (EAVES, 2002).

Ainda segundo Rego e Mesquita (2011), a dificuldade no gerenciamento dos estoques é agravada pela crescente diversidade de produtos, a qual segmenta ainda mais a demanda e dificulta sua previsão. Percebe-se, no entanto, que a aplicação de ferramentas apropriadas para a caracterização da demanda pode auxiliar no entendimento dos seus perfis e na elaboração de políticas de estoque mais adequadas, minimizando os problemas mencionados anteriormente.

Em um contexto de crescente complexidade dos cenários de gerenciamento dos estoques e evolução dos sistemas computacionais, o uso de simulações aparece como um importante instrumento, pois possibilita a geração de cenários de forma concisa e acurada, o que facilita a análise da solução (ANDRADE, 1989). Entender o comportamento da dinâmica dos estoques e as variáveis que o compõe é fator fundamental para a diferenciação competitiva das empresas (SILVA *et al.*, 2008). Segundo Gentle (1998), a simulação de Monte Carlo é um caminho fácil e expressivo para compreender um fenômeno de interesse, e desse modo pode ser utilizada para gerar demandas aleatórias a fim de se verificar o comportamento que os estoques terão ao se variar o tamanho de lote e o ponto de reposição de um sistema contínuo (Q).

Esse artigo propõe a análise de um sistema de gestão de estoque a partir da simulação de Monte Carlo. Objetiva-se verificar o efeito que alterações no tamanho de lote e ponto de reposição possuem sobre o nível de serviço e custos totais do sistema e, de forma complementar, determinar,

para um dado perfil de demanda, valores ideais de tamanho de lote e ponto de reposição, visando aumentar o nível de serviço e diminuir os custos.

O artigo está estruturado como segue, além da presente introdução. Inicialmente é discutido na seção 2 um breve referencial teórico sobre os temas contemplados no artigo, enfatizando os modelos de estoque e simulação de Monte Carlo. Em seguida, na seção 3, apresenta-se a metodologia para geração das simulações propostas; na seção 4 são apresentados os resultados obtidos. Por fim, a seção 5 traz as conclusões.

2. Referencial teórico

Para compreensão e embasamento do estudo, a seguir será apresentada uma breve revisão teórica sobre os tópicos que orientaram a pesquisa, englobando conceituação e caracterização dos estoques, modelos de reposição e fundamentos da simulação de Monte Carlo.

2.1 Conceito e caracterização dos estoques

Slack *et al.* (2002) definem estoque como a acumulação armazenada de recursos materiais em um sistema de transformação. De acordo com Corrêa e Corrêa (2005), é possível definir quatro tipos de estoques quanto às suas localizações no processo de operações: (i) estoques de matérias-primas e componentes comprados, (ii) estoques de material em processo, (iii) estoques de produto acabado, e (iv) estoques de materiais para MRO (manutenção, reparo e operação), também conhecido como estoque de peças de reposição.

Os estoques assumem papel fundamental para garantir a segurança das empresas frente às incertezas da demanda. A manutenção de corretos níveis de estoque aumenta a probabilidade de o produto estar disponível para o consumidor no momento da compra; tal definição é conhecida como o nível de serviço oferecido ao consumidor (WANKE, 2003). Um dos principais desafios da administração moderna é obter, simultaneamente, elevado nível de serviço aos clientes e diminuir os custos de manutenção dos estoques (BALLOU, 2006; GAVIOLLI; BARBIERI, 2007).

Ballou (1993) ainda cita outros benefícios para manutenção de estoques: (i) incentivar a produção, (ii) permitir economias de escala nas compras e no transporte, (iii) proteger contra alterações nos preços dos fornecedores, (iv) proteger contra oscilações na demanda ou no tempo de ressuprimento e (v) proteger contra contingências. Em contrapartida, a manutenção de elevados níveis de estoque oculta as ineficiências do processo produtivo (BALLOU, 2006), dificulta o gerenciamento dos itens em estoque (GAVIOLLI; BARBIERI, 2007) e acarreta elevados custos para as organizações (BOWERSOX; CROSS, 2001).

Os custos associados aos estoques são divididos em três categorias, segundo Ballou (1993) e Bowersox e Closs (2001), e devem ser analisados criteriosamente antes da definição da política de

estoque que a empresa pretende adotar (GARDNER, 1980). A primeira categoria de custos refere-se aos custos de manutenção dos estoques; tais custos estão associados à armazenagem dos produtos em estoque por um determinado período de tempo e envolvem os custos de ocupação de um espaço físico como aluguel, manutenção predial, água, luz, equipamentos de movimentação e mão-de-obra; também se enquadram nessa categoria custos de seguro e custos de capital imobilizado, que é o valor que poderia estar sendo empregado em outros investimentos, mas está imobilizado em estoques (LOVE, 1979).

A segunda categoria de custos envolvida na gestão dos estoques são os custos de reposição. Nessa categoria estão contemplados os custos associados à geração de um novo pedido considerando-se emissões de ordem e transportes. De forma simplificada, pode-se definir como custo de reposição todos os custos que variam de acordo com a quantidade de pedidos efetuados para reposição de produtos no estoque (SILVER *et al.*, 1998).

O custo de falta, o terceiro custo que compõe a gestão dos estoques, é o mais difícil de ser dimensionado, pois é composto pelo valor que a empresa deixa de ganhar por não realizar a venda, ou seja, a margem de contribuição unitária do produto. O custo de falta também é composto pelo custo imponderável de não ter o produto disponível para o cliente; nesse caso, as consequências são diversas para a empresa e dificilmente medidas.

2.2 Modelos de reposição de estoques

Os modelos de reposição de estoques possuem origem no conceito de lote econômico proposto por Harris (1913) e difundidos por Wilson (1934). Para Bowersox e Closs (2001), o lote econômico de compra (LEC) pode ser definido como a quantidade de pedidos de ressurgimento que minimiza a soma do custo de manutenção de estoque e de emissão e colocação de pedido. A partir do conceito de LEC, aprimoraram-se outros modelos que têm como objetivo incorporar incertezas em seus sistemas (NAHMIA, 2001). Tais modelos podem ser segmentados em dois grupos: (i) Modelos de Revisão Periódica e (ii) Modelos de Revisão Contínua.

Modelos de revisão periódica estabelecem intervalos de tempo em que os níveis de estoque serão verificados. Existem dois modelos mais comumente utilizados para definição da quantidade e do momento que haverá ressurgimento. O modelo (T, S) avalia periodicamente as quantidades em estoque e abastece o estoque até seu valor máximo, independentemente das quantidades em estoque no momento da revisão. O modelo (T, s, S) é similar ao (T, S), contudo só sugere o ressurgimento se o estoque estiver em um determinado nível, chamado de ponto de reposição, no momento da revisão (SILVER *et al.*, 1998).

Segundo Silver *et al.* (1998), nos modelos de revisão contínua, os estoques são monitorados continuamente e um pedido é disparado sempre que o nível de estoque atingir o ponto de pedido. Os

modelos mais comuns sugerem que seja ressuprida a quantidade necessária para atingir a cobertura objetivo (estoque máximo), modelo conhecido como (s, S); ou uma quantidade fixa, modelo (s, Q).

O presente estudo utiliza como método de reposição o modelo (s, Q). Tal modelo também é conhecido como método das “duas gavetas”, pois comumente operacionaliza-se de forma física nas empresas em duas gavetas para armazenamento dos produtos. De acordo com a demanda, os produtos contidos na primeira gaveta são consumidos até o final, quando há a necessidade de utilização da segunda gaveta (ou seja, caso o estoque esteja no seu ponto de pedido (s), é disparado um novo pedido (Q) que deverá abastecer a primeira gaveta e o conteúdo utilizado da segunda) (SILVA *et al.*, 2008).

Nos modelos (s, Q), a quantidade pedida (Q) é definida com base no lote econômico de compra e o ponto de pedido (s) é calculado avaliando-se o nível de serviço que se pretende oferecer ao cliente. O ponto de pedido (s) pode ser calculado de acordo com a Equação (1) (LAU, 1989).

$$s = D * LT + ES \quad (1)$$

onde D – Demanda média do período; LT – *Lead time*; e ES – Estoque de segurança. Dentre os diversos tipos de estoques, o estoque de segurança aparece como elemento fundamental, visto que, mesmo com investimentos em previsões de demanda mais assertivas, é inevitável que haja um desvio entre a demanda prevista e a demanda efetivamente realizada (GARCIA *et al.*, 2001). Tal erro é amplamente conhecido e, até certo ponto, aceitável. Para garantir que essas variações não afetem o nível de serviço oferecido aos clientes, normalmente são adotados estoques de segurança, que funcionam como pulmões para suprir as condições da demanda e do prazo de entrega. No caso de acréscimos na demanda média, tal estoque é somado ao ponto de pedido para elevar seu nível.

Segundo Corrêa e Corrêa (2005), a determinação de quanto deve ser mantido em estoque de segurança pode ser calculado conforme a Equação (2).

$$ES = k * \sqrt{(TR * S_D)^2 + (D * S_{TR})^2 + (S_D * S_{TR})^2} \quad (2)$$

onde *k* - Fator de segurança, ou a quantidade de desvios padrão da demanda no tempo de resposta; *TR* - Tempo de resposta do ressurgimento, em unidades de tempo; *S_D* - Desvio padrão da demanda; *D* - Demanda média do período; e *S_{TR}* - Desvio padrão do tempo de resposta.

2.3 Fundamentos da simulação de Monte Carlo

A simulação de Monte Carlo nasceu nos Estados Unidos, durante a Segunda Guerra Mundial, e recebeu esse nome em referência à cidade de Monte Carlo em Mônaco, devido aos seus casinos e jogos de azar (METROPOLIS; ULAM, 1949). A simulação de Monte Carlo é um método matemático que envolve números aleatórios e distribuições de probabilidade para simulação de cenários e análise de resultados (DONATELLI; KONRATH, 2005). Segundo Lustrosa, Ponte e Dominas (2004), a simulação de Monte Carlo utiliza a geração de números aleatórios para atribuir

valores às variáveis do sistema que se deseja investigar. Sendo assim, gera randomicamente diversos valores para as variáveis de entrada e, de acordo com as combinações realizadas, retorna as variáveis de saída que são o foco do estudo (MOORE; WEATHERFORD, 2005).

Segundo Saraiva *et al.* (2011) o resultado é armazenado a cada iteração e, ao final de todas as repetições, a sequência de resultados gerados é transformada em uma distribuição de frequências que possibilita calcular estatísticas descritivas, como média, valor mínimo, valor máximo e desvio padrão. Ainda é possível, projetar cenários futuros de operação do sistema de análise. Lustrosa, Ponte e Dominas (2004) corroboram que a simulação de Monte Carlo deve ser utilizada para reproduzir sistemas que envolvam riscos ou incertezas, como é o caso de gestão dos estoques.

Shamblim e Stevens (1974) propõem seis passos que devem ser seguidos para aplicação do método. Primeiramente, deve-se definir as variáveis envolvidas no sistema em análise com base em dados passados ou em estimativas subjetivas dos pesquisadores. Em um segundo momento, deve-se avaliar como se comportam as distribuições de probabilidade das variáveis selecionadas. A terceira etapa do método consiste em definir, para cada variável selecionada, os intervalos de incidência dos números aleatórios, com base nas distribuições de frequência acumuladas projetadas. A quarta etapa consiste em gerar os números aleatórios utilizados na simulação e na quinta etapa utilizar os números gerados nos intervalos de classe de cada variável selecionada no início do estudo. Por fim, deve-se simular o experimento para obtenção dos resultados.

Por seu caráter genérico, a simulação de Monte Carlo pode ser utilizada em qualquer estudo que pretenda simular cenários. Tendo em vista tal fato, é comum encontrar aplicações desse modelo em diversos setores. Saraiva *et al.* (2011) utilizaram essa técnica para realizar uma análise econômica de pedido, enquanto que Rogers *et al.* (2004) avaliaram o risco da gestão financeira de estoques por meio dessa ferramenta.

3. Procedimentos metodológicos

Nessa seção inicialmente será apresentada a empresa foco do trabalho e o cenário no qual está inserida. Na sequência, será feita uma breve caracterização da pesquisa e, a seguir, o desdobramento das etapas de trabalho propostas para avaliação do efeito que diferentes variáveis possuem sobre nível de serviço e custos de um sistema de gestão dos estoques.

3.1 Caracterização da empresa

A empresa foco do estudo é uma consultoria de gestão da cadeia de suprimentos que conta com aproximadamente 80 funcionários. Suas áreas de atuação são gestão da produção, gestão da demanda e gestão da visibilidade e distribuição. Nessa última área, a empresa destaca-se por oferecer três soluções para os clientes: DSI (*Data Sharing Intelligence*), que consiste no

compartilhamento de informações entre fornecedores e clientes da cadeia de suprimentos; DRP (*Distribution Requirements Planning*), responsável por planejar a distribuição de produtos ao longo da cadeia de suprimentos, e VMI (*Vendor Managed Inventory*), que propõe que os estoques do cliente sejam gerenciados pelo fornecedor.

Nos últimos anos, o conceito de estoque gerenciado pelo fornecedor popularizou-se, fazendo com que empresas de diferentes setores busquem iniciativas nessa área e a procura pela solução oferecida pela empresa cresceu. Atualmente, tal solução é utilizada por empresas farmacêuticas, alimentares, bens de consumo, cosméticos e de pneus. Devido a essa grande diversidade de clientes, surge a necessidade do entendimento aprofundado do comportamento que cada variável possui na composição do algoritmo de ressuprimento e, por consequência, da política de gestão dos estoques frente a produtos com diferentes perfis de demanda.

Em análises realizadas por especialistas da empresa, verificaram-se produtos com comportamento distintos no que diz respeito à variabilidade, intermitência e amplitude das vendas. Tal fato corrobora a hipótese de que nem todos os produtos possuem demandas normalmente distribuídas, acenando com a necessidade de se estudar tais produtos a fim de se obter o nível de serviço desejado sem superestocagem e com controle dos custos do sistema.

3.2 Caracterização do método de pesquisa

Essa pesquisa pode ser caracterizada como aplicada, uma vez que se propõe a resolver um problema de ordem prática existente nas políticas de gestão de estoques; quantitativa, visto que são analisados dados históricos de demanda; exploratória, pois procura fazer uma aplicação e análise da metodologia em estudo. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, pode ser classificada como pesquisa-ação, pois possui um envolvimento direto dos pesquisadores a fim de encontrar alternativas para o problema levantado (YIN, 2003).

3.3 Etapas do método proposto

Seguindo a estratégia de pesquisa adotada, o estudo foi dividido em quatro etapas. Na primeira etapa, os dados foram coletados e analisados; na segunda, definiram-se os produtos que seriam analisados e os parâmetros de associados a cada um dos produtos; na terceira, elaborou-se a planilha utilizada para a simulação e, na quarta, foram testados diferentes cenários para a simulação elaborada.

3.3.1 Coleta e análise dos dados de demanda

Para iniciar o estudo foi selecionado o período histórico que se desejava obter dados, e, em seguida, as informações de demanda dos produtos existentes no banco de dados foram extraídas e

organizadas em uma planilha. Posteriormente, realizou-se uma conferência dos dados; informações espúrias foram eliminadas a fim de garantir que não houvesse inconsistências nas bases de dados utilizadas no experimento. Tal conferência baseou-se na validação dos dados por meio da comparação das informações em dois sistemas distintos, assegurando deste modo a confiabilidade das informações analisadas.

Os dados de demanda diária de cada produto analisado alimentaram o *software* Proconf, o qual permitiu identificar a distribuição de probabilidade mais adequada para caracterização da demanda de cada produto. A definição do melhor modelo se deu através da análise do papel de probabilidade e de testes estatísticos, como Kolmogorov-Smirnov. De tal forma, cada produto foi alocado à classe de distribuição de probabilidade responsável pelo melhor resultado no teste de aderência.

3.3.2 Definição dos produtos foco e seus parâmetros

Com o auxílio de especialistas no processo e nos produtos disponíveis para estudo, primeiramente foram avaliados produtos que possuíam uma base de dados de demanda consistente e confiável. Dentre os produtos que satisfaziam essa primeira condição, ocorreu a segmentação em grupos de acordo com a sua distribuição de probabilidade. Visando restringir o escopo do estudo, optou-se por trabalhar somente com a distribuição normal e lognormal, excluindo-se produtos enquadrados em outras distribuições. Em seguida, foi escolhido aleatoriamente um produto de cada grupo (distribuição normal e lognormal) para foco do estudo.

Na sequência, coletaram os dados característicos de cada produto, incluindo perfil de demanda e custos envolvidos na gestão de estoques. Os seguintes dados foram coletados:

- **Venda média diária:** Foi calculado somando-se as demandas diárias e dividindo-se pelo período de análise.
- **Desvio da demanda:** Foi calculado com base no desvio padrão das demandas diárias; é um indicativo de dispersão dos eventos estudados e representa a variação no consumo do produto.
- **Custo de guarda:** O custo de guarda foi calculado considerando-se os custos totais de armazenagem que englobam aluguel, água, luz, manutenção predial, segurança privada, seguro de mercadoria e mão de obra. Tais custos foram somados e rateados pelos produtos de acordo com o espaço ocupado no armazém.
- **Custo de escassez:** Optou-se por quantificar o custo de escassez através da margem de contribuição unitária do produto no caso da venda não ser realizada (valor que se deixa de ganhar quando o produto está em ruptura). Observa-se, desta forma, que o custo de escassez torna-se uma parcela importante dos custos totais da gestão de estoques.

- **Custo de reposição:** O custo de reposição foi calculado com base no custo médio de transporte, utilizando-se o rateio do custo total pelo volume que cada produto utiliza no veículo de transporte.

3.3.3 Elaboração da planilha de simulação

Baseando-se nos dados levantados, elaborou-se a planilha de simulação do sistema de estoque. Tal planilha tinha a função de simular demandas que abasteceriam um sistema de gestão de estoque, permitindo inferir sobre o nível de serviço e os custos totais. A Tabela 1 ilustra a planilha de simulação gerada. Percebe-se que o estoque inicial contém 50 unidades e que a demanda do primeiro dia, oriunda de uma distribuição normal, foi de 11 unidades. Nota-se que, nesse dia, não houve escassez nem necessidade de reposição, pois o estoque *in house* foi suficiente para atender a demanda e não chegou ao ponto de reposição. Tal lógica é estendida para os demais dias da análise. Na Tabela 2 são exibidos os parâmetros de entrada para construção da planilha.

Tabela 1 – Exemplo da simulação do sistema de Gestão Contínua (Q) para lead time igual a 1 dia

Dia	Estoque <i>in house</i>	Demanda	Escassez	Reposição
1	50	11	0	0
2	39	4	0	0
3	35	9	0	0
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
11998	30	11	0	0
11999	19	3	0	0
12000	16	10	0	50

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabelas 2 – Exemplo das variáveis de entrada do sistema de simulação

VARIÁVEIS DE ENTRADA DE ESTOQUE	
Tamanho de Lote	50
Ponto de reposição	10
VARIÁVEIS DE ENTRADA DE CUSTO	
Custo de Guarda	R\$ 0,11
Custo de Escassez	R\$ 58,00
Custo de Reposição	R\$ 120,00
VARIÁVEIS DE ENTRADA DE DEMANDA	
Venda média diária	6,7
Desvio da demanda	3,4

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3.4 Simulação

Após a elaboração da planilha, deu-se início à simulação de cenários, nos quais as variáveis de entrada (tamanho de lote, ponto de reposição e *lead time*) foram variadas com o objetivo de se

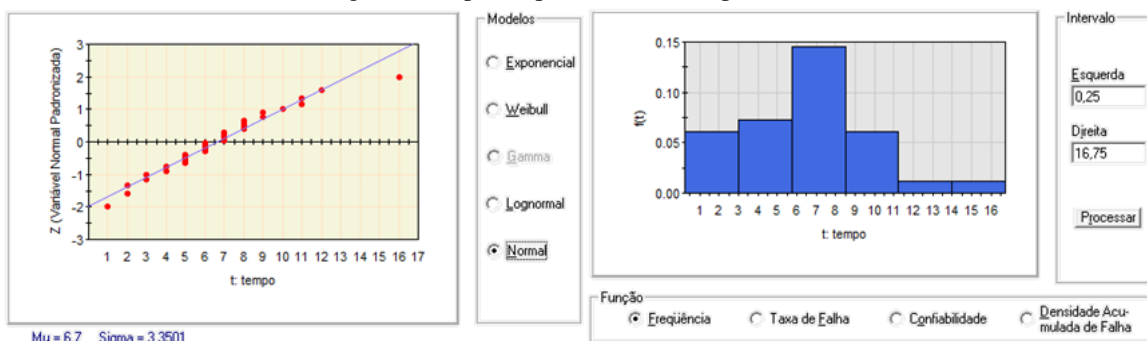
avaliar seu impacto sobre as variáveis de saída (nível de serviço e custos totais dos estoques). Tais análises foram operacionalizadas através da geração de cenários de simulação, detalhados na seção 4.

4. Resultados

A fim de se verificar o impacto que as variáveis tamanho de lote, ponto de reposição e *lead time* possuem na variação do nível de serviço ofertado ao cliente e no custo de um sistema de gestão de estoque, aplicou-se o método proposto no setor de venda de pneus. Tal setor foi escolhido por apresentar dificuldades no gerenciamento de estoques de sua extensa gama de produtos.

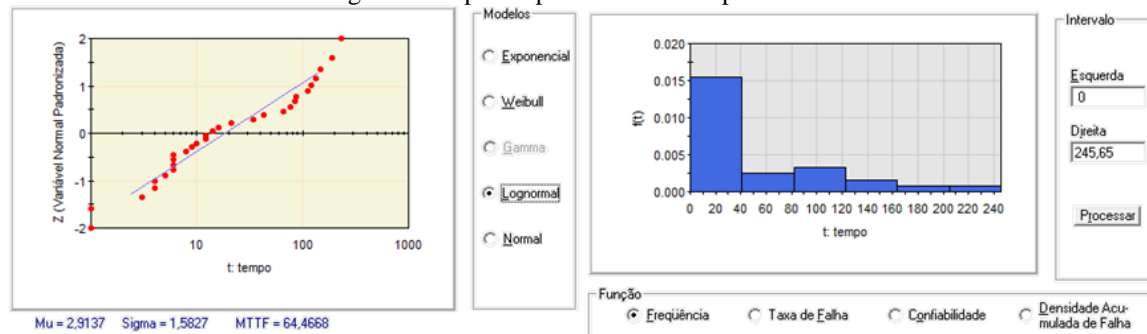
A simulação de Monte Carlo foi aplicada em dois produtos que ilustram o comportamento da demanda. O primeiro produto (P1) possui uma demanda estável que se enquadra em uma distribuição normal. Tal constatação provém da análise de 30 dias de demanda do produto P1 através do papel de probabilidade e do gráfico acumulativo da demanda, resultantes do diagnóstico realizado no *software* Proconf (ver Figura 1).

Figura 1 - Papel de probabilidade do produto P1



O segundo produto (P2) possui um padrão de vendas irregular com picos ao longo do período analisado; a demanda de tal produto segue uma distribuição lognormal, conforme pode ser visto na Figura 2 gerada pelo *software* Proconf.

Figura 2 - Papel de probabilidade do produto P2



Na sequência, foram definidos os custos atrelados à guarda, escassez e reposição dos produtos P1 e P2. O custo de guarda foi definido somando-se os custos totais do armazém de estoque; tais custos englobam aluguel, água, luz, manutenção predial, segurança privada, seguro de

estoque e mão-de-obra e foram rateados para os produtos levando-se em consideração o volume ocupado em estoque. Deste modo, verifica-se que o custo de armazenagem do produto P1 e P2 (que possuem as mesmas dimensões) é de R\$ 0,11 unidades/dia.

O custo de escassez possui grande representatividade nos custos totais, uma vez que o produto foco do estudo - pneu - é um item com alta margem de contribuição unitária, fazendo com que sua ruptura gere prejuízos perceptíveis para o sistema. Estima-se que o custo médio de escassez do produto é R\$ 58,00 por unidade. O custo de transporte foi estimado em R\$ 2,40 por unidade, considerando-se o frete de São Paulo para o Ceará por via rodoviária. Todos os custos foram mensurados com base no custo mensal histórico da empresa em questão e em pesquisas de mercado.

Com o levantamento das características dos produtos e dos custos associados, foram gerados cenários de simulação alterando-se 3 variáveis de entrada: tamanho de lote de reposição, ponto de reposição e *lead time* de entrega de cada produto. As variáveis de resposta consistiam no nível de serviço ao cliente e nos custos do sistema (guarda+escassez+reposição). A Tabela 3 exhibe os cenários testados e os resultados obtidos para distintos níveis nas variáveis de entrada do produto P1; similarmente, a Tabela 4 exhibe as informações do produto P2. Ambos os sistemas foram simulados considerando-se um total de 12000 eventos.

Com a simulação foi possível concluir que, mantendo-se o tamanho de lote constante e aumentando-se o ponto de reposição, eleva-se o nível de serviço do produto, independentemente do modelo de distribuição do mesmo. Tal fato pode ser explicado realizando-se uma análise do papel do ponto de reposição em políticas de gestão de estoques.

O ponto de reposição é responsável por alertar sobre a necessidade de geração de um novo pedido. Isso ocorre quando a quantidade em estoque se torna insuficiente para atender à demanda projetada para os próximos dias (normalmente, utiliza-se o período do *lead time* de entrega para essa verificação). Aumentando-se o ponto de reposição, garante-se que o pedido será antecipado e o nível de estoque existente estará em um patamar superior ao verificado se o ponto de pedido fosse menor.

Tabela 3 - Cenários simulados para o produto P1

Cenários	Distribuição	Lead Time	Tamanho de lote	Ponto de reposição	Custo Total	Nível de Serviço
Cenário 1	Normal	1	50	5	R\$ 29,73	97,7%
Cenário 2	Normal	3	50	5	R\$ 109,44	77,6%
Cenário 3	Normal	5	50	5	R\$ 163,68	63,9%
Cenário 4	Normal	1	50	10	R\$ 21,91	99,8%
Cenário 5	Normal	3	50	10	R\$ 81,48	84,5%
Cenário 6	Normal	5	50	10	R\$ 148,75	67,9%
Cenário 7	Normal	1	50	15	R\$ 21,56	100,0%
Cenário 8	Normal	3	50	15	R\$ 57,38	90,6%
Cenário 9	Normal	5	50	15	R\$ 126,99	73,1%

Cenário 10	Normal	1	80	5	R\$	27,94	98,6%
Cenário 11	Normal	3	80	5	R\$	82,72	84,8%
Cenário 12	Normal	5	80	5	R\$	125,63	73,6%
Cenário 13	Normal	1	80	10	R\$	23,09	99,9%
Cenário 14	Normal	3	80	10	R\$	62,98	89,5%
Cenário 15	Normal	5	80	10	R\$	110,96	77,3%
Cenário 16	Normal	1	80	15	R\$	23,35	100,0%
Cenário 17	Normal	3	80	15	R\$	46,26	93,9%
Cenário 18	Normal	5	80	15	R\$	95,71	81,1%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 4 - Cenários simulados para o produto P2

Cenários	Distribuição	Lead Time	Tamanho de lote	Ponto de reposição	Custo Total	Nível de Serviço
Cenário 1	Lognormal	1	400	150	R\$ 1.055,52	76,7%
Cenário 2	Lognormal	3	400	150	R\$ 1.488,10	64,6%
Cenário 3	Lognormal	5	400	150	R\$ 1.622,67	57,8%
Cenário 4	Lognormal	1	400	200	R\$ 965,96	78,5%
Cenário 5	Lognormal	3	400	200	R\$ 1.372,02	68,6%
Cenário 6	Lognormal	5	400	200	R\$ 1.724,97	58,4%
Cenário 7	Lognormal	1	400	250	R\$ 892,57	81,3%
Cenário 8	Lognormal	3	400	250	R\$ 910,82	80,3%
Cenário 9	Lognormal	5	400	250	R\$ 1.404,86	64,7%
Cenário 10	Lognormal	1	500	150	R\$ 958,84	79,6%
Cenário 11	Lognormal	3	500	150	R\$ 1.315,76	69,5%
Cenário 12	Lognormal	5	500	150	R\$ 1.627,90	59,9%
Cenário 13	Lognormal	1	500	200	R\$ 870,63	82,7%
Cenário 14	Lognormal	3	500	200	R\$ 840,36	82,2%
Cenário 15	Lognormal	5	500	200	R\$ 1.357,38	65,6%
Cenário 16	Lognormal	1	500	250	R\$ 750,60	83,9%
Cenário 17	Lognormal	3	500	250	R\$ 840,36	82,2%
Cenário 18	Lognormal	5	500	250	R\$ 1.441,76	65,2%

Fonte: Elaborado pelos autores.

De forma geral, com o aumento do ponto de reposição, garante-se uma maior segurança contra flutuações de demanda do produto. No caso do produto P2, que possui uma demanda mais incerta, verifica-se que, alterando o ponto de reposição de 200 para 250 unidades, eleva-se em até 15% o nível de serviço. Nas Figuras 3 e 4 é possível analisar a variação no nível de serviço gerado por alterações no ponto de reposição.

Figura 3 - Normal: Nível de serviço X Ponto de reposição

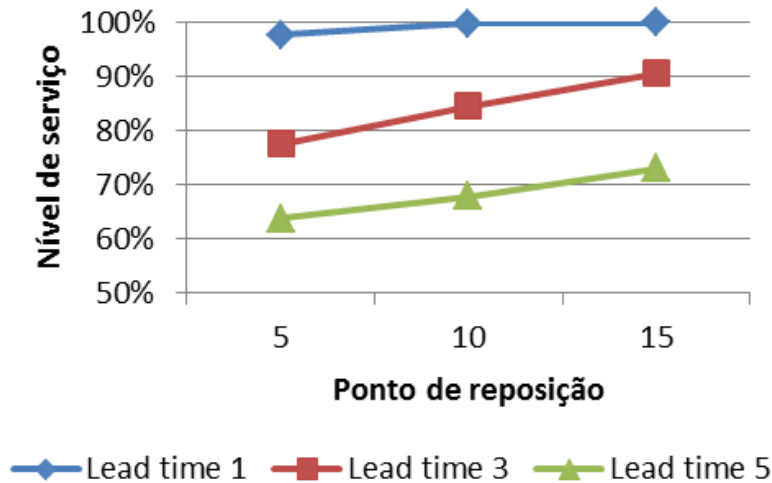
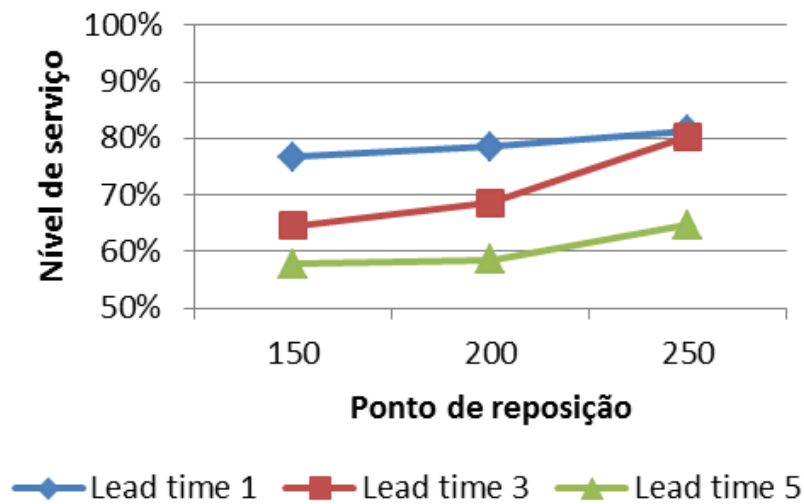


Figura 4 - Lognormal: Nível de serviço X Ponto de reposição



A simulação ainda permitiu avaliar a sensibilidade do nível de serviço em relação à variação do tamanho de lote, mantendo-se o ponto de reposição constante. Nesse cenário, verifica-se que o impacto causado pela variação no tamanho de lote é menor do que a causada pela variação no ponto de reposição. O tamanho de lote possui maior impacto sobre os custos de gestão dos estoques do que sobre o nível de serviço, isso porque o tamanho de lote é definido através da avaliação da quantidade mínima (para que não haja rupturas entre os *lead times* de entrega). Após esse ponto, seu aumento deve ser mensurado juntamente com os custos de reposição e armazenagem, visando-se estabelecer um ponto satisfatório em relação ao nível e aos custos de gestão do estoque. Tal resultado pode ser analisado nas Figuras 5 e 6, onde pode-se verificar a variação do nível de serviço em relação ao tamanho de lote; similarmente, as Figuras 7 e 8 exibem o impacto do tamanho de lote nos custos totais de gestão dos estoques.

Figura 5 - Normal: Nível de serviço X Tamanho de lote

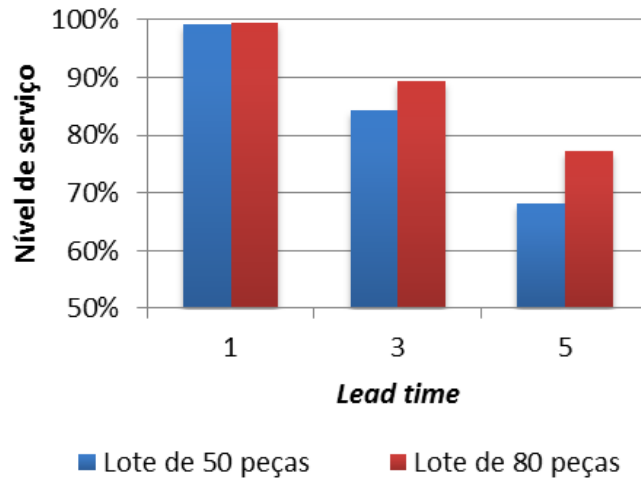


Figura 6 - Lognormal: Nível de serviço X Tamanho de lote

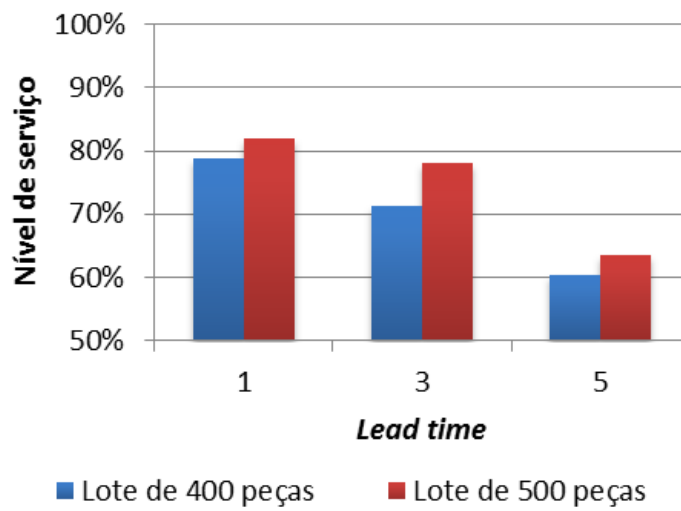


Figura 7 - Normal: Custos totais X Tamanho de lote

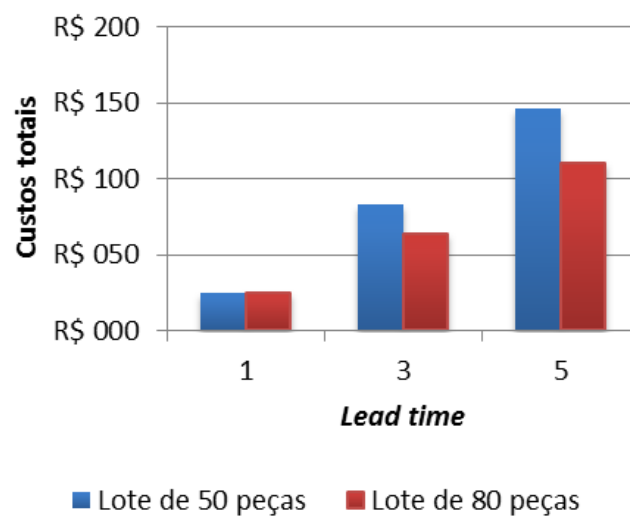
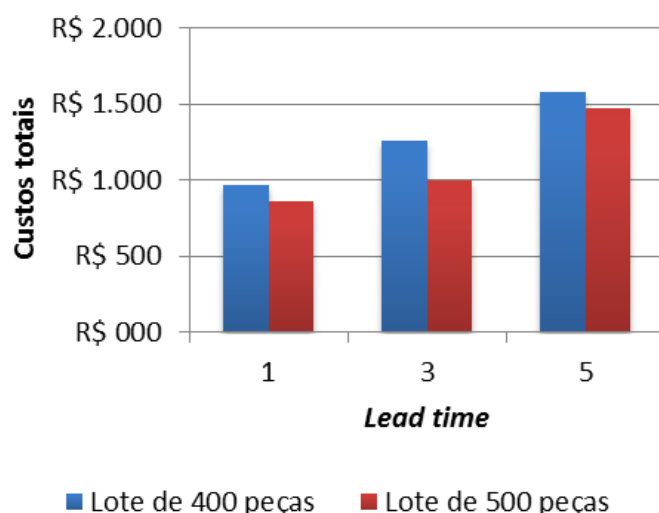
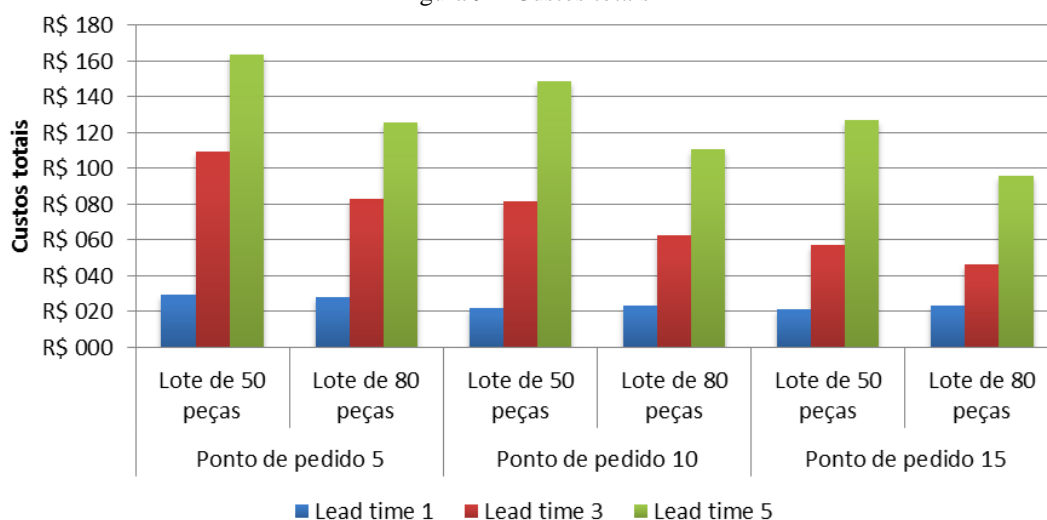


Figura 8 - Lognormal: Custos totais X Tamanho de lote



Em relação aos custos do sistema, nota-se que, quanto maior o lote e o ponto de reposição, menor será o custo total da gestão dos estoques. Esse cenário é característico do setor em estudo, pois o produto possui um alto valor agregado, o que torna sua escassez mais impactante para o sistema do que a manutenção de níveis maiores de estoque. Também é possível verificar que o *lead time* possui uma grande interferência nos cenários; *lead times* maiores tornam o sistema mais imprevisível e, deste modo, mais propício a rupturas, como na Figura 9.

Figura 9 – Custos totais



5. Conclusões

Este artigo apoiou-se na Simulação de Monte Carlo para analisar os impactos em nível de serviço e custos de manutenção de estoque decorrentes de distintas políticas de reposição e distribuições de demanda. Com base nos resultados obtidos, pode-se considerar que a proposta mostrou-se satisfatoriamente dentro das expectativas. Com o estudo foi possível identificar que o aumento do ponto de reposição aumenta expressivamente o nível de serviço e, no caso do produto

estudado, diminui os custos. Também foi possível analisar o efeito de alterações no tamanho de lote sobre o sistema simulado e concluir que, quanto maior o tamanho de lote, maior é o nível de serviço ofertado ao cliente e menores são os custos do sistema.

É importante salientar que o caso estudado possui algumas peculiaridades que precisam ser observadas para análise dos resultados obtidos. Primeiramente, os produtos avaliados possuem alto valor agregado, fazendo com que sua ruptura impacte substancialmente nos custos totais; deste modo, verificou-se que o nível de serviço e os custos do sistema são grandezas inversamente proporcionais para esse produto (o que não pode ser generalizado para outros produtos). Em segundo lugar, partiu-se da premissa que o custo de reposição é variável pelas peças contidas no lote e que não existe uma parcela fixa atrelada ao custo de reposição. Esse tipo de transporte torna a variação do tamanho de lote mais flexível e menos impactante dos custos do sistema.

Sugere-se como estudo futuro a simulação de cenários para produtos que possuam outros tipos de perfis de demanda a fim de se verificar como o nível de serviço e os custos oscilam no contexto em questão. Existe, ainda, a oportunidade inserção de uma variável referente à capacidade física de armazenamento na simulação, visto que esse é um fator limitante que precisa ser atendido em aplicações práticas.

Abstract

The present article objective simulate a stock replacement (s, Q) in order to verify the effect that changes in input variables cause the level of service and the cost of inventory management. To systematize the reset method to Monte Carlo simulation, which enables the generation of scenarios from the generation of random variables adhering to established a distribution of probability is used. Propositions in this article, are initially discussed the concepts of inventory management and replenishment models, so fornecer emplacements for the rest of their work. In a second step, the proposed methodology is presented to formulate the Monte Carlo simulation; Finally, the results obtained in the study are presented. The proposed approach allowed us to assess the impacts that different points of order, lead times and lot sizes have on the management of inventories disponibilidade about products and system costs.

Key-words: Systems Replacement; Inventories; Monte Carlo Simulation; Lead Time; Reorder Point.

Referências

ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para a Análise de Decisão.** Rio de Janeiro: LTC, 1989.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: Logística Empresarial.** 5 ed. Porto Alegre: Brookman, 2006.

BALLOU, R. H. **Logística Empresarial.** São Paulo: Atlas, 1993.

BOWERSOX, D. J.; CROSS, D. J. **Logística Empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos.** São Paulo: Atlas, 2001.

- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração da produção e operações**: Manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. São Paulo: Atlas, 2005.
- DONATELLI, G. D., KONRATH, A. C. **Simulação de Monte Carlo na avaliação de incertezas de medição**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
- EAVES, A. Forecasting for the ordering and stock-holding of consumable spare parts. **Lancaster University, Department of management Science**, 2002.
- GARCIA, E. S.; LACERDA, L. S.; BENÍCIO, R. A. Gerenciando incertezas no planejamento logístico: o papel do estoque de segurança. **Tecnológica**, v. 63, n. 1, p. 36-42, 2001.
- GARDNER, E. S. Inventory theory and gods of Olympus. **Interfaces**, v. 10, n. 4, p. 42-45, 1980. **crossref**
- GAVIOLLI, L. S.; BARBIERI, J. C. Política de vendas e estoques, baseada em sistemas de classificação de produtos: desenvolvimento teórico e sua aplicação em empresa do setor eletro-eletrônico. **Gestão & Regionalidade**, v. 23, n. 66, p. 17-28, 2007.
- GENTLE, J. E. **Random number generation and Monte Carlo methods**. New York: Springer, 1998. **crossref**
- LAU, H. S. Toward a Stock Control System under Non-Normal Demand and Lead-Time Uncertainty. **Journal of Business Logistics**, v.10, n. 1, p. 88-103, 1989.
- LOVE, S. **Inventory Control**. New York: McGraw-Hill, 1979.
- LUSTOSA, P. R. B.; PONTE, V. M. R.; DOMINAS, W. R. **Pesquisa operacional para decisão em contabilidade e administração**. São Paulo: Atlas, 2004.
- METROPOLIS, N.; ULAM, S. The Monte Carlo method. **Journal of the American Statistical Association**, v. 44, n. 247, p. 335-341, 1949. **crossref**
- MOORE, J. H.; WEATHERFORD, L. R. **Tomada de decisão em administração com planilhas eletrônicas**. 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- NAHMIAS, S. **Production and operation analysis**. 4 ed. Boston: McGraw-Hill, 2001.
- REGO, J. R.; MESQUITA, M. A. Controle de estoque de peças de reposição em local único: uma revisão da literatura. **Produção**, v. 21, n. 4, p. 645-655, 2011. **crossref**
- RESENDE, R. S.; NEVES, C. T.; NIGRO, I. S. C. A complexidade da Gestão de estoques em dois elos da cadeia de suprimentos. In: **XVII Simpósio de engenharia de produção**. Bauru, 2010.
- ROGERS, P.; RIBEIRO, K. C. S.; ROGERS, D. Avaliando o risco na gestão financeira de estoques. In: **Simpósio de administração da produção, logística e operações internacionais**. 2004.
- ROSA, H.; MAYERLE, S. F.; GONÇALVES, M. B. Controle de estoque por revisão contínua e revisão periódica: uma análise comparativa utilizando simulação. **Produção**, v. 20, n. 4, p. 626-638, 2010. **crossref**
- SANTOS, A. M.; RODRIGUES, I. A. O *trade-off* entre a folga na capacidade de produção e o nível de estoque, **Revista Gestão Industrial**, v. 13 n. 2, p. 217-233, 2006.
- SARAIVA, A. F.; TABOSA, C. M.; COSTA, R. P. Simulação de Monte Carlo aplicada à análise econômica de pedido. **Produção**, v. 21, n. 1, p. 149,164, 2011.
- SHAMBLIN, J. E.; STEVENS, G. T. **Operations research: a fundamental approach**. New York: McGraw-Hill, 1974.
- SILVA, G. L. C. **Modelo de estoque para peças de reposição sujeitas à demanda intermitente e lead time estocástico**. 2003. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.
- SILVA, T. G.; BARBOZA, F.; MARUJO, L. G. Análise dos impactos das diferentes políticas de gestão de estoques de suprimentos em uma empresa do setor de bebidas através de simulação. **Revista Gestão Industrial**, v. 04, n. 04, p. 24-42, 2008. **crossref**

SILVER, E. A.; PETERSON, R.; PYKE, D. F. *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.

SLACK, N.; CHAMBERS, S; JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

WANKE, P. *Gestão de estoques na cadeia de suprimentos: Decisões e modelos quantitativos*. Rio de Janeiro: Atlas, 2003.

YIN, R. K. *Estudo de caso planejamento e método*. 3 ed. Porto Alegre: Brookman, 2003.

Dados dos autores:

Nome completo: **Tais Beck**

Filiação institucional: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Departamento: Engenharia de Produção e Transportes

Função ou cargo ocupado: -

Endereço completo para correspondência: Rua Dona Leopoldina 17/08, bairro São João, Porto Alegre. CEP: 90550 130

Telefones para contato: (51) 9825 0383

E-mail: taisbeck@gmail.com

Nome completo: **Michel J Anzanello**

Filiação institucional: UFRGS

Departamento: PPGE

Função ou cargo ocupado: Professor

Endereço completo para correspondência: Av. Osvaldo Aranha, 99,5 andar, Porto Alegre

Telefones para contato: (51) 33084423

E-mail: michel.anzanello@gmail.com

Nome completo: **Alessandro Kahmann**

Filiação institucional: UFRGS

Departamento: PPGE

Função ou cargo ocupado: Doutorando

Endereço completo para correspondência: Rua Santana, 324 - apto 1

Telefones para contato: (51) 93141208

E-mail: alessandro.kahmann@ufrgs.br

Submetido em: 19-05-2015

Aceito em: 14-09-2015