

COMPARAÇÃO DE POLÍTICAS DE GESTÃO DE ESTOQUE VIA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

COMPARISON BETWEEN INVENTORY SYSTEMS USING MONTE CARLO SIMULATION

Luiz Antônio Nonenmacher Júnior¹, Michel José Anzanello²

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS – Porto Alegre – RS – Brasil
ljuniornone@gmail.com

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS – Porto Alegre – RS – Brasil
anzanello@producao.ufrgs.br

Resumo

Muitas empresas de pequeno porte são desafiadas a conciliar um atendimento rápido aos clientes com um baixo custo de estoque de produtos prontos, enfrentando problemas decorrentes da ausência de uma sistemática consolidada de gestão de estoques. O objetivo deste artigo é comparar dois modelos de gestão de estoque de revisão periódica – o modelo (R,s,S) e o modelo (R,S,Q_{min}) – utilizando simulação de Monte Carlo. A comparação foi feita variando o nível máximo desejado de estoque e avaliando o nível de serviço obtido, bem como seu custo de guarda associado. Após definir o melhor método para a empresa estudada, uma produtora de plásticos de pequeno porte, foram avaliados os efeitos de mudanças em parâmetros do processo (lead time, tempo de setup e período de revisão) sobre os resultados obtidos. Com a modelagem concluída, foi realizada a escolha do melhor método e depois simuladas alternativas. Concluiu-se que o modelo (R,s,S) trouxe melhores resultados, com um custo médio 7,4% inferior ao modelo (R,S,Q_{min}) . Constatou-se ainda que o parâmetro lead time possui maior impacto sobre os resultados, quando comparado ao tempo de setup. Por fim, não se recomenda a redução do período de revisão, pois aumenta os custos médios de estocagem.

Palavras-chave: gestão de estoques; revisão periódica; simulação de monte carlo.

1.Introdução

O setor de micro e pequenas empresas têm sido cada vez mais importante para a economia brasileira, aumentando sua participação no PIB do país de 21% em 1985 para 27% em 2011(SEBRAE, 2014). No setor industrial, as micro e pequenas empresas correspondem a 41,5% do pessoal ocupado e contribuem com 22% do PIB do setor (IBGE, 2011). Dentre as dificuldades encontradas por pequenas empresas, pode-se destacar a tomada de decisões empírica com a ausência de dados quantitativos (LEONE, 1999). Nesse contexto, muitas empresas de pequeno porte, que têm entre suas principais dificuldades conciliar um atendimento rápido aos clientes com um baixo custo de estoque de produtos prontos, enfrentam problemas decorrentes da ausência de uma sistemática consolidada de gestão de estoques.

Uma gestão de estoques eficiente consiste em encontrar um nível ótimo onde se equilibre as vantagens e desvantagens de níveis altos e baixos de estoques. Manter estoques altos significa incorrer em custos de armazenamento e guarda, gastos com seguros e taxas, além do custo de oportunidade do capital investido para manter tais itens. Operar com níveis menores de estoque reduz esses custos, mas tende a diminuir a utilização de equipamentos e mão de obra, aumenta o custo de *setups* e, principalmente, impacta negativamente na satisfação dos clientes pela redução no nível de serviço (KRAJEWSKI, 2008).

Dentre as políticas existentes de gestão de estoque, destacam-se dois principais modelos: o modelo de revisão contínua e o de revisão periódica. No modelo tradicional de revisão periódica (R,S), se estabelece um intervalo de tempo no qual os níveis de estoque são revisados e um nível máximo desejado de estoque (S). No final de cada período de revisão é gerado um pedido de ressuprimento que abastece o estoque até o nível máximo desejado (SILVER et al., 1998). Para lidar com restrições de quantidades mínimas a serem pedidas a abordagem mais comum a ser utilizada é o modelo (R,s,S), que considera uma quantidade mínima de estoque (s) abaixo da qual podem ser geradas ordens de produção. Outra alternativa é o modelo (R,S,Q_{min}) sugerido por Kiesmüller et al. (2011). O funcionamento deste modelo é semelhante ao (R,S), exceto que, ao ser necessária uma quantidade de ressuprimento menor do que a quantidade mínima a ser produzida (Q_{min}), o pedido deve ser elevado para Q_{min}.

Para definir R, s e Q_{min} devem ser considerados a demanda dos produtos, o *lead time* de produção, os custos decorrentes de uma determinada quantidade de estoque e o nível de serviço desejado. Ao se considerar a demanda ou o *lead time* como variáveis estocásticas, torna-se necessária a utilização de métodos estatísticos ou de simulação para definir tais variáveis. Uma das técnicas de simulação que pode ser utilizada é o método de Monte Carlo, que utiliza um processo aleatório para selecionar os valores de cada variável a cada iteração e permite, com isso, simular o comportamento de processos que dependem de fatores aleatórios (SOBOL, 1994).

O objetivo deste artigo é comparar os dois modelos de gestão de estoque – (R,s,S) e (R,S,Q_{min}) – através do método de Monte Carlo, que será utilizado para, a cada valor de S, avaliar os custos resultantes da manutenção de determinado nível de estoque e o nível de serviço obtido. Após a determinação do melhor modelo para a situação estudada, serão avaliados os efeitos de mudanças em parâmetros do processo (*lead time*, tempo de *setup* e período de revisão) sobre o nível de serviço e os custos de estocagem.

Este artigo está organizado em cinco seções. Após essa introdução, na seção 2 será apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre políticas de gestão de estoque e simulação de Monte Carlo, que será utilizada como fundamento para o desenvolvimento do método proposto na

seção 3. Na seção 4 serão apresentados os resultados obtidos com a aplicação do método e uma análise sobre os impactos desses resultados para a empresa estudada. Por fim, a seção 5 conclui o trabalho, comparando os resultados obtidos com os objetivos propostos e sugerindo pesquisas futuras na área.

2. Revisão bibliográfica

A seguir, são apresentadas um breve referencial teórico sobre modelos de gestão de estoques e simulação de Monte Carlo.

2.1 Definições básicas de estoques

Estoque pode ser definido como a acumulação de recursos materiais em um sistema de transformação (SLACK et al., 2009). Esses recursos materiais podem ser matérias-primas, suprimentos, componentes, materiais em processo e produtos acabados, dentre outros (BALLOU, 2006). O nível ideal de estoque a ser mantido deve equilibrar os ganhos e os custos associados, buscando atender às prioridades competitivas da empresa de forma eficiente (KRAJEWSKI e RITZMAN, 2002).

Os estoques têm a função de proporcionar independência entre as fases dos processos que se encontram, fazendo com que a interrupção de um dos processos não acarrete, automaticamente, uma interrupção do próximo processo (CÔRREA e CÔRREA, 2012). As vantagens em se manter estoques incluem melhorar o serviço ao cliente, através do aumento de disponibilidade dos produtos ou serviços, e reduzir determinados custos. Essas reduções de custos estão associadas a se produzir em maiores volumes, reduzindo custos de *setup*, a economias de escala em compras e transporte e a se proteger contra variações no tempo de ressuprimento e outras contingências (BALLOU, 2006).

As principais desvantagens associadas a se manter um nível elevado de estoques são os custos decorrentes de tal decisão. Krajewski e Ritzman (2002) afirmam que os principais custos incorridos ao se manter estoques são o custo de oportunidade (referente ao capital investido), os custos de armazenamento e manuseio dos materiais, os custos associados ao pagamento de seguros e taxas e, por fim, a deterioração dos materiais. Além disso, um nível elevado de estoques pode ocultar problemas de qualidade (BALLOU, 2006).

Para se determinar quando devem ser feitos os pedidos (de compras ou produção), bem como suas quantidades, devem ser utilizados modelos de reposição de estoques (KRAJEWSKI e RITZMAN, 2002). O surgimento desses modelos se deve ao conceito de lote econômico de compra (LEC), proposto por Harris (1913), que consiste em encontrar a quantidade (Q) que minimiza o custo total do estoque, composto pelo custo de manutenção (C_h) e pelo custo de pedido (C_o),

conforme a equação (1) (SLACK et al., 2009). A partir desse conceito, surgem duas categorias de modelos de reposição: os modelos de revisão contínua e os de revisão periódica, detalhados na sequência.

$$Q = \sqrt{\frac{2C_oD}{C_h}} \quad (1)$$

2.2. Modelos de gestão de estoque

Nos modelos de revisão contínua (Q,r) a quantidade em estoque é continuamente monitorada. Quando essa quantidade for menor que o ponto de pedido (Q) é feito um pedido de uma quantidade determinada de itens (r). Essa quantidade itens pode ser determinada pelo uso do lote econômico; por sua vez, o ponto de pedido é determinado considerando a demanda pelo item (D), o *lead time* (L) e o estoque de segurança (E_s), conforme equação (2) (KRAJEWSKI e RITZMAN, 2002).

$$r = D * L + E_s$$

Para se calcular o estoque de segurança, deve-se multiplicar a demanda durante o *lead time* (σ_L) pelo nível de serviço desejado (z), conforme a equação (3) (KRAJEWSKI e RITZMAN, 2002).

$$E_s = \sigma_L * z \quad (3)$$

No modelo de revisão periódica (R,S) é estabelecido um nível máximo desejado de estoque (S) e um intervalo de tempo no qual a quantidade do item é revisada (R). No final de cada intervalo é gerado um pedido de ressuprimento que abastece o estoque até o nível máximo (ou patamar que corresponda a um nível de serviço desejado) (SILVER et al., 1998).

Uma das variáveis utilizada para se calcular o nível máximo de estoque no modelo de revisão periódica é o custo de falta dos produtos, que ocorre sempre que um item é demandado, mas não pode ser entregue imediatamente por ausência no estoque. No curto prazo, essas faltas geram perda de vendas e custos administrativos com *backorders*. Já no longo prazo, ocorrem custos relacionados à perda de reputação da empresa frente a seus clientes, o que pode reduzir as vendas futuras (LIBEROPOULOS e TSIKIS, 2008).

Em muitos casos, porém, esses custos são difíceis de estimar, em especial aqueles que envolvem aspectos subjetivos como a perda de reputação (LARSEN, 2010). Para substituir esses custos, tradicionalmente se utiliza o nível de serviço, que pode ser definido como a fração da demanda que pode ser atendida imediatamente a partir do estoque.

No modelo tradicional de revisão periódica, desde os trabalhos de Arrow et al. (1951) e Bellman et al. (1955), os custos associados geralmente são calculados no final de cada período de revisão. Rudi et al. (2009), no entanto, mostram que essa abordagem tende a resultar em níveis de

estoque mais elevados do que a quantidade ótima e propõem um modelo no qual os custos são avaliados continuamente. Avinadav e Henig (2015) partem desse modelo contínuo e propõem que alguns custos sejam avaliados em momentos discretos do tempo.

O modelo original de revisão periódica não impõe nenhuma restrição sobre a quantidade mínima a ser produzida. Para muitas empresas, porém, não é viável produzir em lotes de qualquer tamanho, sendo necessária a utilização de modelos que considerem uma quantidade mínima de produção (ZHAO e KATEHAKIS, 2006). Além disso, as quantidades mínimas de produção podem ser utilizadas para substituir os custos de *setup*, que, em algumas situações, podem ser difíceis de serem definidos (PORRAS e DEKKER, 2006). Zhao e Katehakis (2006) demonstram que, ao se considerar restrições de pedido mínimo, a estrutura da solução ótima é tipicamente muito complexa para ser utilizada na prática e, portanto, são necessários modelos simplificados para resolução dos problemas.

A abordagem mais comum para lidar com esses casos é o modelo (R,s,S), uma versão alterada do modelo (R,S). Caso o estoque seja menor que o nível de ressuprimento s , é gerada uma ordem de produção para elevar o estoque até S . Caso o estoque seja maior do que s , nenhuma ordem é gerada. Zhou et al. (2007) propõem um método alternativo (R,s,t, Q_{\min}) e demonstram que esse modelo tem um desempenho melhor que o (R,s,S). Nesse modelo, t é o limite inferior e Q_{\min} é a quantidade mínima que pode ser produzida. Quando a quantidade em estoque é menor ou igual a s , são produzidos itens para fazer o estoque atingir $s + Q_{\min}$. No entanto, quando a quantidade de estoque é maior que s mas menor que t , deve ser produzida uma quantidade Q_{\min} .

No entanto, a determinação dos parâmetros s e t no modelo (R,s,t, Q_{\min}) demanda elevado esforço computacional, podendo se tornar inviável na prática. Para solucionar este problema, Kiesmüller et al. (2011) sugerem um modelo simplificado (R,S, Q_{\min}), que é um caso especial do modelo de Zhou et al. (2007) com $s = S - Q_{\min}$ e $t = s - 1$. Nesse modelo, se o nível de estoque for menor que S , é produzida uma quantidade de unidades para elevar o nível de estoque até S . No entanto, se essa quantidade de unidades for menor do que Q_{\min} , a quantidade a ser produzida deve ser elevada para Q_{\min} . Os autores demonstram que o desempenho desse modelo é semelhante ao modelo (R,s,t, Q_{\min}) e recomendam sua utilização dado a menor complexidade e facilidade de implementação.

2.3 Simulação de Monte Carlo

Simulação pode ser definida como a reprodução do comportamento de um sistema através de modelos que descrevem seus processos. Após a construção do modelo, as variáveis podem ser manipuladas para mensurar o efeito das alterações no sistema. A simulação não prescreve a solução

ideal para um problema, mas permite comparar alternativas de solução (KRAJEWSKI e RITZMAN, 2002)

Em diversas situações práticas, ao utilizar-se um modelo para descrever um sistema, percebe-se que o equacionamento desenvolvido pode ser muito complexo para serem encontradas soluções analíticas (SHAMBLIN e STEVENS, 1984); tal situação ocorre em casos onde a interação entre as variáveis é não linear ou o número de variáveis é excessivo. Para estas situações, deve-se fazer uso da simulação. Krajewski e Ritzman (2002) levantam outras duas vantagens de se utilizar simulação: através dela é possível conduzir experimentos sem interferir no sistema real e é possível obter propriedades do sistema num tempo menor do que seria necessário pela simples observação do sistema real.

A incerteza está presente em muitos aspectos da tomada de decisão. Dados críticos, como a demanda futura por um produto, podem não estar disponíveis no momento da decisão. Uma das formas de lidar com modelos sujeitos a essa incerteza é através de utilização de modelos estocásticos (HOMEM-DE-MELLO e BAYRAKSAN, 2014).

Uma das categorias de técnicas de simulação mais utilizadas para lidar com modelos estocásticos são as técnicas por amostragem (HOMEM-DE-MELLO e BAYRAKSAN, 2014). Uma de suas principais vantagens reside no fato de que problemas com um grande número de cenários podem ser aproximados por uma quantidade relativamente pequena de amostras (LINDEROTH et al., 2006).

A simulação de Monte Carlo, que pode ser definida como um método numérico baseado em amostragens aleatórias (NIEDERREITER, 1992), é um dos métodos mais utilizados na categoria de técnicas por amostragem. Um dos aspectos fundamentais da simulação de Monte Carlo é a geração de números aleatórios. Em alguns casos, esses números podem ser gerados através de processos físicos, mas para a maioria dos casos, que exige uma quantidade elevada de números aleatórios, são utilizados os chamados números pseudoaleatórios. Esses números são gerados de forma determinística através de funções conhecidas, mas se comportam como se tivessem sido gerados aleatoriamente (GENTLE, 2003).

O primeiro passo para a operacionalização de uma simulação de Monte Carlo é estabelecer as funções de distribuição acumulada que serão utilizadas para gerar os parâmetros de entrada. Essas funções podem ser obtidas a partir de dados históricos ou de estimativas (SHAMBLIN e STEVENS, 1984). Definidas as funções, são retiradas amostras aleatórias da distribuição, que representarão os valores das variáveis de entrada. Para cada conjunto de parâmetros de entrada será obtido um conjunto de parâmetros de saída, que representam o resultado de um cenário particular simulado. Após coletar os valores de saída associados a um determinado número de amostragens,

podem ser feitas análises estatísticas para tomada de decisões sobre o sistema modelado (RAYCHAUDHURI, 2008).

Atualmente, a Simulação de Monte Carlo é utilizada para resolução de modelos estocásticos em diferentes áreas do conhecimento, como planejamento de energia, segurança, saúde, finanças, transportes e gestão da cadeia de suprimentos (HOMEM-DE-MELLO e BAYRAKSAN, 2014). Na área de gestão de estoques, essas técnicas foram utilizadas por Rogers et al. (2004) para avaliação de riscos na gestão de estoques e por Chu et al. (2015) para definição do nível de estoque ideal em uma cadeia de suprimentos.

Rogers et al. (2004) utilizaram a Simulação de Monte Carlo para o cálculo do Lote Econômico de Compra considerando como variáveis aleatórias a demanda e a inflação no preço dos produtos. A simulação realizada teve como resultado um aumento de 10% nas quantidades médias de estoque, o que indica que a utilização de modelos determinísticos pode ser inadequada para situações onde há variações significativas nas variáveis.

3. Procedimentos metodológicos

Na sequência o método de pesquisa utilizada neste trabalho é caracterizado e são descritas as etapas do método aplicado.

3.1 Caracterização do método de pesquisa

Quanto ao método de pesquisa, este estudo pode ser classificado como de natureza aplicada, pois trata da aplicação de conceitos de gestão de estoques para solucionar um problema prático. Por utilizar um modelo matemático para descrever o sistema e determinar os níveis de estoque a partir de dados quantitativos de demanda, o estudo tem objetivo explicativo com abordagem quantitativa. Quanto aos procedimentos, o trabalho classifica-se como pesquisa-ação, pois há um envolvimento direto dos autores na aplicação do método para solução do problema vivenciado pela empresa (DA SILVA e MENEZES, 2005).

3.2 Método proposto

O método proposto constitui-se de quatro etapas: (i) coleta de dados, (ii) desenvolvimento da modelagem, (iii) escolha do método de gestão de estoques e (iv) simulação de alternativas. Tais etapas são detalhadas na sequência.

Na etapa de coleta de dados é inicialmente definido o produto que deve ter seu nível de estoque gerenciado. Essa decisão baseia-se na demanda, na margem de contribuição e na importância estratégica de cada produto. Depois de definido o produto, são coletados dados

históricos de venda deste produto, os quais são utilizados como parâmetros de entrada da modelagem. Por fim, foram buscados junto à empresa o *lead time* de produção e a produção mínima do item.

A etapa de desenvolvimento da modelagem visa estruturar o modelo utilizado na simulação e definição do nível de ressuprimento (s). A simulação será estruturada por períodos, sendo cada período um dia útil. Para cada período é definido o estoque inicial (E_i), o abastecimento (A), a demanda (D), o estoque final (E_f) e a quantidade a ser produzida (P). O estoque inicial é igual ao estoque final do período anterior, sendo igual ao nível de ressuprimento no primeiro período. A entrada é consequência do pedido de produção feito no final de algum período anterior e a demanda é gerada estocasticamente através da simulação de Monte Carlo. O estoque final é então calculado conforme a equação (4):

$$E_f = E_i + A - D \quad (4)$$

Por definição da empresa, a revisão dos níveis de estoque será feita a cada semana. Portanto, nos períodos múltiplos de cinco mais um (período 1, 6, 11, 16, etc.), dependendo do valor do estoque final, é definida a quantidade a ser produzida, conforme as regras do modelo (R,s,S) ou do modelo (R, S, Q_{\min}) apresentados na seção 2. Essa quantidade será abastecida em algum período seguinte de acordo com o valor do *lead time* (por exemplo, se o *lead time* é de 5 períodos, a quantidade a ser produzida no final do período 1 se tornará o abastecimento do período 7).

Para cada nível de ressuprimento é calculado um nível de serviço e um custo de estocagem. O nível de serviço é representado pelo percentual de períodos cujo estoque final é maior ou igual a zero, e o custo é calculado através da média de estoque final em cada período, representando o custo de guarda dos produtos.

A partir dessa modelagem, a etapa de escolha do método de gestão de estoques executará o experimento de simulação, alterando o valor do nível de ressuprimento para cada produto e coletando o nível de serviço e os custos associados. Através da comparação dos resultados obtidos por cada modelo, será definido o modelo de melhor desempenho para a situação estudada.

A etapa de simulação de alternativas tem como objetivo analisar o efeito de possíveis mudanças (cenários alternativos) no processo produtivo da empresa que resultem em variações no *lead time*, no estoque mínimo ou no período de revisão. A partir destas variações, serão calculados novamente os custos de estocagem e o nível de serviço, o que permitirá comparar a eficiência de cada medida. A partir dos resultados dessa etapa e da etapa (iii) são sugeridas medidas a serem adotadas pela empresa.

4. Resultados e discussão

Essa seção descreve a empresa onde o estudo foi realizado e os resultados de tal aplicação.

4.1 Caracterização da empresa

A construção civil é um dos principais setores da indústria nacional, ocupando uma grande parcela da população brasileira e contribuindo com uma porção significativa do valor adicionado bruto do país. Segundo dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2015), em 2015 a construção civil contribuiu com 6,5% do valor adicionado bruto do país e ocupou 7,3% da mão de obra brasileira.

Uma tendência percebida nesse setor é a utilização cada vez maior de materiais plásticos. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009) afirma que 16% dos artigos de plásticos produzidos no país são utilizados pela construção civil, número que tende a crescer, em decorrência da crescente substituição de aplicações tradicionalmente de madeira ou alumínio (esquadrias) por PVC (VALENCIO, 2011).

Nesse contexto encontra-se a empresa estudada, produtora de plásticos de pequeno porte sediada na Região Metropolitana de Porto Alegre. A empresa produz esquadrias e seus acessórios, persianas e forros através do processo de extrusão, utilizando como principal matéria prima o PVC. Dentre as principais dificuldades da organização encontra-se a gestão de estoques de produtos prontos, que não é executada de maneira estruturada. Além de não ter um processo de revisão periódica de seus estoques, a empresa não tem níveis de ressuprimento definidos para seus produtos, dificultando o processo de sequenciamento de produção, o que ocasiona períodos de estoques excessivos seguidos por períodos com falta de produtos.

4.2 Aplicação do método

A seguir são apresentados e discutidos os resultados obtidos com a aplicação de uma das quatro etapas do método proposto.

4.2.1 Coleta de dados

Para definir o produto a ter seu estoque gerenciado, focou-se em itens com margem de contribuição elevada e cuja contribuição para o faturamento da empresa fosse representativo frente aos demais produtos. A partir desses critérios, escolheu-se o produto persiana tipo A, cuja unidade de produção e vendas é mensurada em metros (ao invés de unidades ou metros quadrados, como outros produtos). Como a demanda deste produto não apresenta comportamento sazonal, foram coletados seis meses de dados.

A análise dos dados de demanda evidencia uma elevada aleatoriedade, com a grande maioria de dias sem demanda (em 83,8% dos dias a demanda é igual a 0) e a demanda nos demais dias variando entre 144 e 5650 metros. Esse comportamento dificulta a modelagem por modelos de distribuição e justifica a utilização da simulação de Monte Carlo. A Tabela 1 apresenta as demandas ocorridas no período analisado e sua probabilidade de ocorrência (calculada através da divisão do número de ocorrências pelo total de ocorrências).

Tabela 1: Demanda da persiana A

Demanda	Probabilidade	Demanda	Probabilidade
0	83,8%	780	0,9%
144	0,9%	900	1,7%
150	1,7%	1050	1,7%
180	0,9%	1200	1,7%
240	0,9%	1500	0,9%
300	0,9%	2100	0,9%
450	0,9%	4200	0,9%
600	0,9%	4650	0,9%

Fonte: Autoria própria (2016)

4.2.2 Desenvolvimento da modelagem

A modelagem e simulação do problema foi feita em uma planilha eletrônica do Microsoft Excel. Foram utilizadas sete colunas para representar o problema, de acordo com os parâmetros definidos na seção 3.2 e ilustrados na Tabela 2. Para obter estabilidade dos resultados, a simulação considerou 10.000 períodos.

Tabela 2: Modelagem e simulação

Período	Estoque inicial	Produção	Demanda	Estoque final	Pedido produção	Falta produto
71	8636	0	1050	7586	2250	0
72	7586	0	0	7586	0	0
73	7586	0	0	7586	0	0
74	7586	0	0	7586	0	0
75	7586	0	0	7586	0	0
76	7586	2250	0	9836	0	0
77	9836	0	4650	5186	0	0

Fonte: Autoria própria (2016)

Cada simulação realizada parte dos seguintes parâmetros: período de revisão, *lead time*, método e tempo de *setup*. O período de revisão, *lead time* e tempo de *setup* foram definidos inicialmente conforme seção 4.2.1. O método pode variar entre o modelo (R,s,S) e o modelo (R,S,Qmin), nomeados, respectivamente, Método 1 e Método 2. Para cada escolha de parâmetros, coleta-se o nível de serviço e o custo associado a cada nível de ressuprimento (S), variando este nível em incrementos de 50 metros entre a quantidade mínima de produção e 8000 metros. O valor de 8000 foi definido como um valor que assegura níveis de serviço acima de 99,9%.

4.2.3 Escolha do método de gestão de estoques

Para determinar se a empresa deveria utilizar o Método 1 ou 2 para gerir o estoque da persiana A gerou-se uma simulação com base em cada método (utilizando os parâmetros definidos inicialmente). Para cada faixa de nível de serviço comum aos dois métodos, comparou-se a diferença percentual entre os custos obtidos entre cada método, sendo que valores positivos deste indicador indicam um custo maior do Método 1. Após fazer este cálculo para cada faixa, foi calculada uma média entre essas diferenças. O resultado obtido indica que, em média, o Método 2 apresenta um custo 0,2% menor que o Método 1. Percebe-se, no entanto, que tal diferença é muito pequena para ser considerada decisiva na escolha do melhor método, podendo ser fruto de variações da própria simulação.

Para buscar uma comparação mais apurada, foram feitas novas simulações reduzindo, um por vez, os parâmetros de *lead time*, tempo de *setup* e quantidade mínima de produção. Estes valores reduzidos foram estabelecidos pela empresa como sendo os mínimos permitidos caso fossem feitos esforços de melhoria nos processos correspondentes. O *lead time* reduzido foi definido como 3 dias úteis, o período de revisão de 1 dia útil e a quantidade mínima a ser produzida de 900 metros (referente a um tempo de *setup* de 1 hora).

Simulando estas três situações, o Método 2 apresentou um custo 0,8% menor na situação de *lead time* reduzido, enquanto que o Método 1 apresentou um custo 0,2% menor no caso de estoque mínimo reduzido e 30,4% menor na situação de redução do período de revisão. Com base nesses resultados (Tabela 3), o Método 1 foi selecionado para gerenciamento dos estoques da persiana A.

Tabela 3: Comparação dos Métodos 1 e 2

Situação	Diferença % média
Situação inicial	0,2%
Período de revisão reduzido	-30,4%
Lead time reduzido	0,8%
Qmin reduzido	-0,2%
Média	-7,4%

Fonte: Autoria própria (2016)

4.2.4 Simulação de alternativas

Além de definir o melhor método a ser utilizado, é de interesse da empresa avaliar os possíveis impactos de melhorias nos parâmetros (*lead time*, tempo de *setup* e período de revisão) sobre o custo de gestão dos estoques. O primeiro passo é determinar as possíveis faixas de cada parâmetro, de acordo com as melhorias a serem realizadas.

O *lead time* para a persiana A pode ser melhorado através da adoção de regras de sequenciamento que priorizassem este produto. Com isso, estima-se que o *lead time* poderia ser reduzido até 3 dias úteis. Já o tempo de *setup* pode ser melhorado através da adoção de novos procedimentos e treinamentos dos funcionários. Com base em tempos obtidos por outras empresas

do setor, a empresa estima que o *setup* poderia ser reduzido até uma hora. Por fim, o período de revisão depende da distribuição de tarefas dos funcionários e, segundo a empresa, poderia ser reduzido até uma revisão diária (período de 1 dia útil).

Por limitações de recursos, a empresa é capaz de propor melhorias em apenas um dos três parâmetros considerados. Por isso, cada um dos parâmetros será testado separadamente (mantendo os outros nos níveis iniciais estabelecidos).

O efeito da mudança de cada parâmetro será analisado através da redução percentual de custos em relação a situação inicial, calculado por faixas de forma análoga à diferença de custos proposta na seção 4.2.3. Valores positivos da redução indicam que houve uma redução de custos em relação à situação inicial, enquanto que valores negativos indicam um aumento nos custos. Como medida auxiliar, será avaliado o nível de serviço mínimo que pode ser obtido por aquela combinação de parâmetros. Quanto menor for este valor, maior é a flexibilidade na escolha do nível de serviço.

A primeira simulação foi feita variando o período de revisão entre 5 (parâmetro inicial), 3 e 1 dia útil (Tabela 4). Como tanto o parâmetro de 3 dias úteis quanto o de 1 dia útil causaram um aumento de custos e aumento do nível de serviço mínimo, este parâmetro deve ser mantido no valor inicial de 5 dias úteis. A mudança destes parâmetros resultou em um tempo de resposta mais rápido; contudo, como a demanda é zerada na maioria dos dias, acarretou em maior número de períodos com estoque de produtos elevado, aumentando assim os custos de estocagem.

Tabela 4: Comparação redução do período de revisão

Período de revisão	Redução %	Nível de serviço min.	Custo mínimo
5	-	84,70%	2169
3	-6,70%	93,74%	4025
1	-58,70%	98,07%	8626

Fonte: Autoria própria (2016)

A segunda simulação foi feita variando o *lead time* entre 5,4 e 3 dias (Tabela 5). A redução deste parâmetro diminui os custos e aumenta o nível de serviço mínimo, sendo proveitosa a redução do *lead time* para 3 dias (exceto diante da hipótese de se operar com um nível de serviço menor do 89,50%).

Tabela 5: Comparação redução do *lead time*

Lead time	Redução %	Nível de serviço min.	Custo mínimo
5	0%	84,70%	2080
4	4,30%	87,95%	2314
3	5,49%	89,50%	2396

Fonte: Autoria própria (2016)

A terceira simulação (Tabela 6) foi construída variando a quantidade mínima a ser produzida entre os valores de 2250 m, 1800 m, 1350 m e 900 m (valores referentes a tempos de *setup* de 2,5 h,

2 h, 1,5 h e 1 h). Ao reduzir as quantidades mínimas, reduzem-se tanto os custos quanto o nível de serviço mínimo, o que torna proveitosa a redução de tempo de *setup* para 1h.

Tabela 6: Comparação redução da quantidade mínima a ser produzida

Qmin	Redução %	Nível de serviço min.	Custo mínimo
2250	0%	84,70%	2194
1800	0,83%	81,78%	1574
1350	1,50%	74,38%	984
900	1,68%	61,59%	544

Fonte: Autoria própria (2016)

Analisando os três casos, recomenda-se à empresa focar-se na redução do *lead time* para 3 períodos, pois se trata da mudança que gera a maior redução de custos. No entanto, caso a empresa decida operar com níveis de serviço menores que 89,50%, recomenda-se a redução no tempo de *setup*, pois possibilita a operação com níveis de serviço menores a um custo menor que o obtido pelos parâmetros atuais.

Assumindo que a empresa implantou a melhoria que reduziu o *lead time* da persiana A para 3 dias, futuramente ela pode dispor dos recursos para fazer a redução no tempo de *setup*. Para analisar se tal mudança é vantajosa, foi feita uma nova simulação fixando o *lead time* em 3 dias e variando as quantidades mínimas de produção (Tabela 7). Os resultados demonstram que, a partir de um *lead time* de 3 dias, é recomendado a redução da quantidade mínima de produção para 1800 metros, pois há uma redução de custos ao mesmo tempo que um nível de serviço mínimo menor. Reduções de quantidade mínima maiores não são recomendadas, exceto se queira operar com um nível de serviço menor que 87,59%.

Tabela 7: Comparação redução do *lead time* e tempo de *setup*

Qmin	Redução %	Nível de serviço min.	Custo mínimo
2250	0%	89,50%	2396
1800	2,33%	87,59%	1854
1350	0,42%	84,19%	1302
900	-0,14%	69,67%	668

Fonte: Autoria própria (2016)

5. Conclusões

O primeiro ganho obtido para a empresa através das simulações realizadas é a definição de qual o melhor método a ser utilizado para a gestão dos estoques da persiana A. Outro ganho importante é a capacidade de, ao se analisar os resultados obtidos, determinar o ponto de pedido a ser adotado de acordo com o nível de serviço e custos desejado, encontrando uma solução de compromisso entre os dois parâmetros que atenda seus objetivos estratégicos. Essa análise não era possível antes da realização deste trabalho, fazendo com que a definição do método e do ponto de pedido a ser utilizado fosse baseado apenas em aspectos e percepções subjetivas.

Outro resultado importante foi a capacidade de avaliar o efeito de mudanças nos parâmetros. Sem a simulação, a empresa poderia adotar até medidas contraproducentes, como reduzir o período de revisão, acreditando estar melhorando seus resultados. Como melhoria futura, podem ser feitas as mesmas simulações para outros produtos considerados importantes para a organização.

A simulação de Monte Carlo foi de fundamental importância neste trabalho, pois permitiu trabalhar com dados de demanda que não se encaixariam em distribuições de probabilidade usuais. Além disso, ela permitiu extrair conclusões que contrariavam conclusões usuais, como a piora dos resultados ao se reduzir o período de revisão, por exemplo; tais conclusões advêm de situações onde a demanda é normalmente distribuída. Isso que demonstra que nem sempre as conclusões são as mesmas ao se mudarem pressuposições dos modelos.

Como recomendação para estudos futuros, recomenda-se comparar os resultados obtidos com a melhoria em cada um dos parâmetros com o custo de tais melhorias, gerando uma análise mais completa. Dessa forma, talvez o melhor parâmetro não seja aquele que apresente a maior redução de custos, mas sim o melhor custo benefício. Além disso, a comparação entre os dois métodos e os diferentes valores dos parâmetros pode ser feita para outros produtos cujas características de demanda sejam diferentes das do produto analisado neste trabalho.

Abstract

Many small-sized companies are challenged to achieve simultaneously a quick response to the customers and low costs with finished goods inventory, facing the problems of not having a consolidated inventory management system. The objective of this article is to compare two periodic review inventory systems – the (R,s,S) and the (R,s,Q_{\min}) models – using the Monte Carlo simulation method. The comparison is made by changing the maximum inventory level and assessing the service level achieved and its associated costs. After determining the best inventory system for the studied company – a small-sized plastic products producer – the effect of changes in process parameters (lead time, setup and period between revisions) is assessed. With the modelling complete, the best system has been defined and alternative scenarios were simulated. As a result, it is concluded that the system (R,s,S) has led to better results, with an average cost 7,4% smaller than the system (R,S,Q_{\min}) . It is also concluded that the lead time have a greater impact on the results when compared to the setup. Finally, the reduction of the period between revisions is not recommended, because it increases the average cost of the system.

Key-words: inventory system; periodic revision, monte carlo simulation.

Referências

ARROW, K.J.; HARRIS, T.J; MARSCHAK, J.; Optimal Inventory policy. *Econometrica* 19, 1951. [crossref](#)

AVINADAV, Tal; HENIG, Mordecai I. Exact accounting of inventory costs in stochastic periodic-review models. *International Journal of Production Economics*, Volume 169. 2015.

- BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre : Bookman, 2006
- BELLMAN, R; GLICKSBERG, I.; GROSS, O. On the optimal inventory equation. **Management Science**. Vol. 2, No.1. 1955. **crossref**
- CBIC. **Boletim Estatístico**. 2015. Disponível em <<http://www.cbicdados.com.br/menu/indicadores-economicos-gerais/boletim-estatistico> > Acesso em 23 out. 2015.
- CHU, Yunfei; YOU, Fenggi; WASSICK, John M.; AGARWAL, Anshul. Simulation-based optimization framework for multi-echelon inventory systems under uncertainty. **Computers & Chemical Engineering**, Volume 73, 2. 2015.
- CORRÊA, H.L.; CORRÊA, C.A. **Administração da produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 3. Ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- DA SILVA, E.D; MENEZES, E.M. **Metodologia de Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4. Ed. Ver. Atual. Florianópolis: UFSC. 2005.
- GARCIA, Eduardo Saggiore; FERREIRA FILHO, Virgílio José Martins. Cálculo do ponto de pedido baseado em previsões de uma política de gestão de estoques. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro , v. 29, n. 3, p. 605-622, Dec. 2009.
- GENTLE, James E. **Random Number Generation and Monte Carlo Methods**. 2. Ed. New York: Springer-Verlag. 2003
- HARRIS, F.W. How many parts do make at once. **The Magazine of Management** 10, 1913.
- HOMEM-DE-MELLO, Tito; BAYRAKSAN, Güzin. Monte Carlo sampling-based methods for stochastic optimization. **Surveys in Operations Research and Management Science**, Volume 19, Issue 1. 2014.
- IBGE. **Pesquisa industrial anual**. 2011. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pia/produtos/produto2011/defaultproduto.shtm>> Acesso em 24 ago. 2015
- IBGE. **Sistema de Contas nacionais – Brasil 2005 - 2009**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/contasnacionais/2009>> Acesso em 23 out. 2015.
- KIESMÜLLER, G.P.; de KOK, A.G.; DABIA, S. Single item inventory control under periodic review and a minimum order quantity. **International Journal of Production Economics**, Volume 133, Issue 1. 2011. **crossref**
- KRAJEWSKI, Lee J.; RITZMAN, Larry P. **Administração de produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008
- LEONE, N.M. As especificidades das pequenas e médias empresas. **Revista de Administração**, v.34, n.2, p.91-94, abril/junho, São Paulo, 1999.
- LIBEROPOULOS, George; TSIKIS, Isidoros. Do stockouts undermine immediate and future sales? **University of Thessaly**, Volos, Greece, 2008
- LARSEN, Christian. Derivation of confidence intervals of service measures in a base-stock inventory control system with low-frequent demand. **International Journal of Production Economics**, Volume 131, Issue 1, 2010.
- LINDEROTH, J.; SHAPIRO, A.; WRIGHT S. The empirical behavior of sampling methods for stochastic programming. **Annals of Operations Research**. 142. 2006
- NIEDERREITER, Harald. Random number generation and quasi-Monte Carlo methods. **Society for Industrial and Applied Mathematics**, Edition 1, Philadelphia, 1992
- PORRAS, Eric; DEKKER, Rommert. An efficient optimal solution method for the joint replenishment problem with minimum order quantities. **European Journal of Operational Research**, Volume 174, Issue 3. 2006.

RAYCHAUDHURI, Samik. Introduction to Monte Carlo simulation. **Proceedings of the 40th Conference on Winter Simulation**, Miami. 2008

ROGERS, P.; RIBEIRO, K. C. S.; ROGERS, D. Avaliando o risco na gestão financeira de estoques. **Simpósio de administração da produção, logística e operações internacionais**. 2004.

RUDI, Nils; GROENEVELT, Harry; RANDALL, Taylor R. End-of-period vs. Continuous Accounting of Inventory-Related Costs. **Operations Research**, 57 (6). 2009

SEBRAE. **Participação das micro e pequenas empresas na economia brasileira**. 2014. Disponível em <<http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Estudos%20e%20Pesquisas/Participacao%20das%20micro%20e%20pequenas%20empresas.pdf>> Acesso em 24 ago. 2015

SHAMBLIN, James E.; STEVENS, G. T. **Pesquisa Operacional: uma abordagem básica**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 1989.

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**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SOBOL, I.M. **A Primer for the Monte Carlo Method**. Flórida: CRC, 1994

ZHAO, Y.; KATEHAKIS, M.N. On the structure of optimal ordering policies for stochastic inventory systems with minimum order quantity. **Probability in Engineering and Information Sciences** 20. 2006.

ZHOUL, Bin. ZHAO, Y.; KATEHAKIS, M.N. Effective control policies for stochastic inventory systems with a minimum order quantity and linear costs. **International Journal of Production Economics**, Volume 106, Issue 2. 2007

Dados dos autores:

Nome completo: **Luiz Antônio Nonenmacher Júnior**

Filiação institucional: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Departamento: Engenharia de Produção e Transportes

Função ou cargo ocupado: Aluno de Mestrado

Endereço completo para correspondência: Av. Osvaldo Aranha, 99 – 5º andar, centro, Porto Alegre, RS, Brasil, CEP 90035-190

Telefones para contato: 55 51 995189850

E-mail: ljuniornone@gmail.com

Nome completo: **Michel José Anzanello**

Filiação institucional: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Departamento: Engenharia de Produção e Transportes

Função ou cargo ocupado: Professor de terceiro grau

Endereço completo para correspondência: Av. Osvaldo Aranha, 99 – 5º andar, centro, Porto Alegre, RS, Brasil, CEP 90035-190

Telefones para contato: 55 51 3308 4423

E-mail: anzanello@producao.ufrgs.br

Submetido em: 05/08/2016

Aceito em: 21/10/2016