



Universidades Lusíada

Batista, Ana Filipa Morais

Lopes, José Álvaro da Cruz de Assis, 1947-

Metodologia integrada para avaliação de políticas de gestão de stocks em cadeias de abastecimento utilizando simulação

<http://hdl.handle.net/11067/1717>

Metadados

Data de Publicação

2015

Resumo

Este trabalho pretende ser uma contribuição metodológica para a avaliação de políticas de gestão de stocks na prática mais comumente empregues em Cadeias de Abastecimento. Utiliza um processo de otimização integrando um algoritmo genético e evolutivo associado à simulação, como forma de definir os parâmetros de gestão mais ajustados para um produto durável de alta rotação. É feita uma discriminação fina dos custos de gestão e concretizada uma análise de sensibilidade para aqueles mais relevante...

Palavras Chave

Controlo de stocks, Logística empresarial

Tipo

article

Revisão de Pares

Não

Coleções

[ULL-FCEE] LEE, n. 19 (2015)

Esta página foi gerada automaticamente em 2025-05-17T10:09:35Z com informação proveniente do Repositório

**METODOLOGIA INTEGRADA PARA AVALIAÇÃO
DE POLÍTICAS DE GESTÃO DE STOCKS EM CADEIAS
DE ABASTECIMENTO UTILIZANDO SIMULAÇÃO**

Ana Filipa Morais Batista

ISEG - Lisbon School of Economics & Management - Universidade de
Lisboa

José Álvaro Assis Lopes

Universidade Lusíada de Lisboa

Resumo: Este trabalho pretende ser uma contribuição metodológica para a avaliação de políticas de gestão de *stocks* na prática mais comumente empregues em Cadeias de Abastecimento. Utiliza um processo de otimização integrando um algoritmo genético e evolutivo associado à simulação, como forma de definir os parâmetros de gestão mais ajustados para um produto durável de alta rotação. É feita uma discriminação fina dos custos de gestão e concretizada uma análise de sensibilidade para aqueles mais relevantes. Por fim são sintetizadas as conclusões mais importantes do estudo.

Palavras-chave: Cadeia de Abastecimento; política de ponto de encomenda; política de revisão cíclica; simulação; otimização; algoritmo genético e evolutivo.

Abstract: This research is intended to be a methodological contribution for the evaluation of inventory control policies most commonly employed in Supply Chains. It uses an optimization process integrating a genetic and evolutionary algorithm associated with simulation in order to define the most appropriate management parameters of a durable and fast moving item. A fine breakdown and a sensitivity analysis of the most relevant management costs is made and the main study conclusions synthesized.

Key-words: Supply Chain; reorder point policy; periodic review policy; simulation; optimization; genetic and evolutionary algorithms.

1. Introdução

Este trabalho pretende ser um contributo para a definição de um percurso metodológico que permita avaliar a adequação de políticas de gestão de *stocks* aos vários níveis de uma cadeia de abastecimento.

O artigo inicia-se por uma descrição e análise das principais contribuições de definição de Cadeia de Abastecimento. De seguida os modelos analíticos mais relevantes de gestão de *stocks* quando integrados numa estrutura multinível são enumerados, salientando-se as suas limitações mais marcantes.

Num terceiro ponto analisa-se a utilização da simulação como processo alternativo que permite responder às limitações atestadas, referindo-se as contribuições mais salientes. Exploram-se, no final, as particularidades e potencialidades da utilização da otimização em simulação.

O quarto ponto descreve em detalhe os vários cenários empíricos utilizados na experimentação. Assim, é definida a organização da cadeia de abastecimento e as suas principais particularidades, nomeadamente, as várias estruturas ensaiadas e as características do produto distribuído. De seguida é pormenorizada a organização dos modelos de simulação em ambiente *ExtendSim*® bem como definido o desenho e a dimensão das várias experiências. Finalmente, num quinto ponto, são sintetizadas as principais conclusões do estudo.

2. Modelos de Gestão de Stocks em Cadeias de Abastecimento

2.1 A Cadeia de Abastecimento

A cadeia de abastecimento pode ser definida como sendo um processo integrado, onde os seus membros (fornecedores, distribuidores, retalhistas, clientes, etc.) interagem através de fluxos e atuam em conjunto para: (1) adquirir matérias-primas, (2) transformar essas matérias-primas em produtos intermédios ou finais e (3) fornecer estes produtos ao consumidor final, tendo como principal objetivo a obtenção de lucro para todos os membros da cadeia. (Seco & Vieira, 2014; Beamon, 1998)

Normalmente, os fluxos podem ser divididos em fluxos de informação, de matéria-prima e financeiro. Os fluxos de materiais iniciam-se no topo da cadeia (fornecedores) e percorrem todos os seus membros até à base (clientes), enquanto

que os fluxos de informação ocorrem em ambos os sentidos (Akkermans *et al.*, 2003; Beamon, 1998). A complexidade da cadeia está por isso dependente da interação dos seus membros e da quantidade de fluxos e trocas realizados por estes. (Cheng, Chen & Chen, 2013)

Os modelos de cadeia de abastecimento podem então ser classificados genericamente em quatro categorias: (1) Determinísticos (Não Probabilístico) onde se assume que todos os parâmetros do modelo são conhecidos e previamente fixados; (2) Estocásticos (Probabilístico) onde se tem que ter em conta parâmetros incertos ou desconhecidos e por vezes aleatórios; (3) Híbridos que incluem elementos dos modelos determinísticos e estocásticos e (4) *IT-Driven* que são modelos que integram e coordenam várias fases do planeamento da cadeia em tempo real, utilizando *software* especializado (Min & Zhou, 2002).

Neste trabalho são utilizados exclusivamente os modelos estocásticos, uma vez que são os mais adequados para descrever e analisar os problemas em questão.

2.2 Modelos Analíticos de Gestão de Stocks em Cadeias de Abastecimento

Segundo Ganeshan *et al.* (1999, p.853) existem diversas metodologias para encontrar soluções para problemas de cadeia de abastecimento, sendo estas agrupadas em quatro categorias:

1. Modelos Conceptuais e Não Quantitativos: onde se analisa a cadeia com o objetivo de tentar definir, descrever e desenvolver um método de gestão na cadeia sem utilizar modelos quantitativos;
2. Casos Orientados e Estudos Empíricos: em que se trabalha com empresas da área com o intuito de recolher dados e através destes conseguir gerir a cadeia de abastecimento;
3. *Frameworks*, *Taxonomics* e Revisão de Literatura: onde se agrupa e explica os conceitos da cadeia de forma a compreender a amplitude e profundidade de cada conceito;
4. Modelos Quantitativos (que incluem otimização, simulação, modelos estocásticos, modelos analíticos e heurísticas): onde se pretende desenvolver um modelo de gestão da cadeia utilizando modelos de natureza numérica.

Embora se deva adaptar a metodologia ao problema em questão, os modelos analíticos são amplamente utilizados na resolução de problemas de gestão de *stocks*. Estes modelos normalmente têm uma descrição formal matemática, que pode ser constituída por sistemas de equações lineares, equações diferenciais ou processos estocásticos (Shalliker & Suleman, 2012, p.2).

Contudo, a maioria dos problemas reais são complexos o que inviabiliza muitas vezes a utilização apenas de processos analíticos. À medida que a complexidade da situação aumenta, a sua formulação torna-se cada vez mais

difícil e a tendência é que os modelos analíticos se tornem simplificações e/ou aproximações grosseiras da realidade, onde são incluídos alguns aspetos relevantes mas não suficientes (Bertrand & Fransoo, 2002; Dellino, Meloni, & Pierreval, 2014).

2.3 Limitações mais Relevantes da Aproximação Analítica

Como foi referido, os modelos analíticos apresentam algumas limitações como, por exemplo, o facto de não conseguirem suportar o conjunto de *input's* necessários (Fleischmann *et al.*, 1997), o tempo de processamento para conseguir soluções de gestão ser muito elevado, não serem suficientemente flexíveis (Yadav *et al.*, 2009), não serem capazes de considerar cenários complexos de forma eficaz e não conseguirem lidar com todas as variáveis estocásticas da cadeia de abastecimento e as suas alterações (Longo & Mirabelli, 2008).

Além disso, em problemas complexos onde existem múltiplos níveis e diversos produtos, é necessário ter uma visão integrada de toda a cadeia de abastecimento, algo que é difícil de se obter através deste tipo de modelos (Bottani *et al.*, 2013).

Devido a estas limitações, torna-se difícil admitir modelos analíticos para problemas de gestão de *stocks* em que a cadeia de abastecimento é mais complexa, uma vez que estes modelos apenas são capazes de apresentar valores ótimos para cadeias parciais muito simplificadas (Bottani *et al.*, 2013; Ingalls, 1998).

Como o propósito deste trabalho é o estudo de uma cadeia de abastecimento com multinível, a utilização de modelos analíticos não é a metodologia mais apropriada. Assim, em alternativa, recorreu-se à simulação de forma a ultrapassar as limitações já referidas (Long & Zhang, 2014).

3. O Emprego da Simulação no Estudo de Cadeias de Abastecimento

Atualmente, as cadeias de abastecimento têm de ter em conta alguns fatores externos, como a natureza competitiva dos mercados ou as constantes alterações verificadas ao nível do fornecimento e da procura. Desta forma, existe uma necessidade constante de adaptação a estas novas condições, sendo que quanto mais rápida esta se verificar, menores serão as consequências/impactos na cadeia (Cheng, Chen, & Chen, 2013).

Na impossibilidade de se utilizar modelos analíticos, surge a simulação, como um método alternativo de resolução deste tipo de problemas. Os modelos de simulação são mais flexíveis e por isso conseguem adaptar-se mais facilmente/rapidamente às alterações, e ao contrário dos modelos analíticos, conseguem lidar com a natureza estocástica existente, não sendo por isso necessário introduzir simplificações mais ou menos profundas nas condições iniciais (Dellino, Meloni, & Pierreval, 2014).

Convém então definir no que é que consiste a simulação. Segundo Lopes (2013), a simulação é uma técnica que envolve um modelo que representa sistemas ou organismos reais, sobre os quais se podem realizar experiências. “O modelo é uma representação externa e explícita de parte da realidade, por quem a deseja utilizar para perceber, mudar, gerir ou controlar essa mesma realidade (Pidd, 1996 em Lopes, 2013, p.5). Por sua vez, um sistema pode ser encarado como um conjunto de objetos a que se associam atributos e funções, que interagem de forma harmoniosa de modo a atingir um determinado objetivo (Cheng, Chen & Chen, 2013).

Quando se abordam problemas de cadeia de abastecimento através de modelação e simulação, convém ter em conta alguns aspetos, pois esta abordagem tem de ser: (1) flexível e paramétrica, de modo a analisar diferentes cenários; (2) eficiente em termos de tempo, ainda que exista um elevado número de itens e/ou níveis na cadeia de abastecimento; (3) ter uma arquitetura uniforme ao longo da cadeia, facilitando assim, a realização de alterações (Longo & Mirabelli, 2008).

Hoje em dia, a aplicação de modelos de simulação a cadeias de abastecimento serve vários propósitos, como por exemplo: (1) melhorar o desempenho da cadeia; (2) apoio à tomada de decisão; (3) aperfeiçoar a estrutura de um sistema; (4) realizar pré testes aos sistemas propostos antes da sua construção (ou em sistemas reais antes da implementação de alterações); entre outros. Estas melhorias são alcançadas através da realização de pequenos ajustes nos parâmetros do modelo (Buchholz & Thümmler, 2005; Long & Zhang, 2014; Maguire, 1972).

Muitos investigadores reconhecem que as soluções encontradas através de simulação são muitas vezes superiores às soluções obtidas por modelos analíticos quando se analisam sistemas estocásticos complexos (Fu, 2002; Melouk *et al.*, 2012). A literatura existente é muitas vezes limitada à análise de algumas configurações muito específicas da cadeia de abastecimento (Bottani & Montanari, 2010).

3.1 Aplicações mais Relevantes

Recentemente, a literatura tem salientado a importância e o contributo da simulação na análise e resolução de problemas de cadeia de abastecimento (Fu, 2002). Embora os resultados da simulação possam vir a ter em alguns casos uma qualidade inferior aos obtidos através de modelos analíticos, a relevância científica, a quantidade de tempo despendida na obtenção de uma solução ou o tipo de problema estudado (em termos de complexidade) podem compensar. Existe assim, um *trade-off* entre a qualidade e relevância científica (Soysal, Bloemhof & van der Vorst, 2012; Bertrand & Fransoo, 2002).

Ao longo das últimas décadas, diversos autores têm utilizado a simulação de forma extensiva na investigação e análise dos efeitos de diversos recursos, políticas e capacidades logísticas em cadeias de abastecimento (Melouk *et al.*, 2012).

Em 1968 foi desenvolvido por Sherbrooke o primeiro modelo matemático para lidar com problemas multinível (METRIC e posteriormente o VARIMETRIC).

Estes modelos partem de vários pressupostos, nomeadamente, (1) a procura segue uma distribuição de Poisson, (2) a procura é estacionária durante o período de análise, (3) o local onde as unidades são reparadas depende da complexidade da reparação, (4) não é permitido o fornecimento para além dos elementos considerados nos vários níveis, (5) o sistema é conservador, entre outras. O objetivo do modelo era otimizar o desempenho do sistema em níveis específicos, o que permitia determinar o *stock* ótimo a armazenar na base (nível 0) e nos depósitos para um grupo de *itens* recuperáveis.

São ainda de realçar um conjunto de trabalhos de referência nas áreas de cadeia de abastecimento (*e.g.* Chopra & Meindl (2007); Ivanov & Sokolov (2010); Sethi, Yan & Zhang (2005)) e de modelos analíticos multinível (*e.g.* Silver (1998)), uma vez que estão na base de grande parte dos desenvolvimentos registados em termos de modelos e políticas associadas à gestão de *stocks* em cadeias de abastecimento. Seguem-se indicações sobre alguns estudos mais recentes sobre o tema.

No trabalho realizado por Hwarng *et al.* (2005) é considerada uma cadeia complexa sendo analisados os efeitos de vários parâmetros (*e.g.* procura, tempo de entrega) e conseqüentemente o seu impacto no desempenho do conjunto (Hwarng *et al.*, 2005 em Bottani & Montanari, 2010).

É ainda de mencionar a contribuição dada por Chan & Chan (2005), onde recorrem à simulação para construir e testar cinco modelos diferentes de cadeias de abastecimento (compostos por 3 fornecedores, 3 fabricantes, 2 retalhistas e 3 clientes). O objetivo é determinar quais os modelos que podem atingir o desempenho ótimo, em termos de nível de *stock*, tempo médio de entrega, utilização de recursos e custos de transporte.

Daniel & Rajendran (2005) desenvolvem uma heurística baseada em simulação de forma a otimizar os *stocks* base (iniciais) numa série de cadeias de abastecimento. É proposto um algoritmo genético para determinar a melhor instalação de *stocks* base numa cadeia, onde o principal objetivo é minimizar o custo total. Em todos os níveis da cadeia são levados em consideração os custos de manutenção e de rotura.

Bottani & Montanari (2010) estabeleceram um modelo de simulação de eventos discretos, que reproduz o comportamento de um bem de consumo rápido numa cadeia de abastecimento. Pretenderam que o modelo avaliasse de forma quantitativa as conseqüências de realizar alterações na configuração da cadeia, e o impacto destas no custo total, assim como no efeito *bullwhip*. O efeito *bullwhip* refere-se ao fenómeno em que a variância da procura é amplificada ao longo da cadeia de abastecimento, ou seja, na sua base (clientes) existe variabilidade mais reduzida e à medida que se avança até ao topo (fornecedores) esta instabilidade vai aumentando (Lee, Padmanabhan, & Whang, 1997; Lee, Padmanabhan, & Whang, 2004). Ao todo, são analisadas trinta configurações diferentes da cadeia de abastecimento, decorrentes da combinação de vários parâmetros (*e.g.* número de níveis (3-5), políticas de gestão de *stocks*, partilha de informação acerca da

procura, entre outras). Conclui-se que todos os parâmetros têm impacto quer nos custos totais, quer no efeito *bullwhip*, embora em diferentes proporções.

Kopytov & Muravjovs (2011) consideram um modelo de controlo de inventário composto por dois níveis (correspondentes ao armazém e clientes finais) e um produto com procura estocástica. O objetivo é definir a melhor estratégia de encomenda para os clientes e armazém de forma a minimizar os custos associados ao controlo de inventário. Os autores utilizam o *ExtendSim*® para simular a estrutura.

Mais recentemente (2014), Sethupathi, Rajendra, & Ziegler concentram-se numa cadeia de abastecimento com procura determinística e analisam duas políticas de encomenda (revisão cíclica (R,S) e ponto de encomenda (s,Q)) tendo em conta diversos custos (e.g. revisão, encomenda, manutenção e rotura) ao longo de um horizonte temporal finito. Para conduzir esta análise utilizam modelos de programação matemática (que incluem algoritmos genéticos) de forma a determinar o ponto ótimo de encomenda e o nível de *stock* base para cada elemento. O estudo demonstra que a política do ponto de encomenda é a que apresenta melhores resultados.

3.2 A Otimização em Simulação

No *Handbook of Simulation*, Fu (2014) refere que "... as duas operações mais poderosas em termos de técnica de pesquisa e gestão são a simulação e a otimização." (Fu, 2014 em Fu *et al.*, 2014). Assim, os problemas de otimização de sistemas estocásticos podem ser abordados através de dois pontos de vista diferentes:

1. Abordagem de simulação, que se baseia numa simulação de caixa negra de modo a gerar estimativas para os valores da função objetivo;
2. Abordagem de otimização, que visa estruturar e resolver problemas matemáticos com alguma incerteza.

Contudo, a combinação das duas técnicas está ainda em desenvolvimento em termos computacionais, pois a grande maioria dos pacotes informáticos comerciais ainda não integra as duas de forma eficaz (Fu *et al.*, 2014).

Como já foi referido, na área da gestão de cadeias de abastecimento grande parte dos problemas são complexos demais para serem tratados de forma analítica. Por conseguinte, prefere-se recorrer à simulação, pois segundo a literatura esta tem sido uma ferramenta útil para avaliar soluções alternativas para estes problemas. No entanto, uma simples avaliação de desempenho é normalmente insuficiente, tendo de se realizar um processo exploratório sob a forma de otimização em simulação (Ólafsson & Kim, 2002).

A otimização por via da simulação acarreta algumas dificuldades, que se devem ao facto do desempenho do sistema não poder ser medido de forma exata (tem de ser estimado) (Fu, 2002). Desta forma, o sucesso da otimização em

simulação na prática depende da forma como interage a simulação e a otimização, de maneira a fornecer aos utilizadores alternativas para avaliar a qualidade das soluções obtidas (Fu *et al.*, 2014).

Estes pacotes informáticos normalmente empregam um conjunto de meta- heurísticas, nomeadamente: método da superfície de resposta, pesquisa aleatória, pesquisa tabu, otimização estocástica, algoritmos genéticos, algoritmos evolutivos, etc.

As meta-heurísticas mais utilizadas são os algoritmos genéticos e os algoritmos evolutivos.

Os primeiros são iniciados através de um conjunto de potenciais soluções (cada uma corresponde a um indivíduo), a que se denomina população. As soluções são avaliadas através de uma função objetivo e os indivíduos aptos têm uma maior probabilidade de se reproduzirem na próxima geração de soluções. No processo de reprodução, os novos indivíduos herdam características dos pais através de um processo de cruzamento e estão sujeitos a mutações. De seguida, são submetidos a vários critérios e os que forem aceites formam uma nova população de candidatos a solução. À medida que o algoritmo avança, este vai gerando soluções melhores, acabando eventualmente por convergir para uma população com boas soluções (Deng, 2007).

Por sua vez, os algoritmos evolutivos são baseados em populações onde se escolhem os melhores indivíduos como “pais” e a partir destes são formados outros (próxima geração). A utilização deste tipo de técnicas implica que haja uma família de soluções (variáveis aleatórias) e não apenas uma solução (Buchholz & Thümmler, 2005; Fu, 2002).

O facto de se tratar de variáveis aleatórias leva a que exista uma probabilidade associada à seleção ótima dos parâmetros de entrada. As heurísticas (procedimento que não garantem a obtenção de uma solução ótima) devem por isso ser robustas. Os algoritmos utilizados devem igualmente garantir que se consegue obter uma solução próxima do valor ótimo à medida que o número de réplicas aumenta (Lopes, 2013, p. 154).

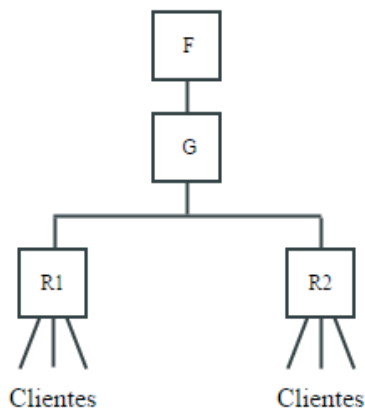
Para que um modelo de otimização em simulação convirja para uma solução ótima ou próxima, as componentes de simulação e otimização têm de trocar informação entre si. Assim, este processo ocorre em geral da seguinte forma: a componente de otimização fornece algumas soluções de teste (valores das variáveis de decisão) ao modelo de simulação de forma a este poder ser avaliado. O modelo de simulação é executado com estes valores de forma a gerar um *output* que indique a qualidade da solução de teste. Este *output* volta ao otimizador, que utiliza a informação para auxiliar a seleção de uma nova solução de teste. O processo é repetido até se verificar um critério de convergência, e nessa altura a melhor solução encontrada é fornecida (Melouk *et al.*, 2012).

4. Cenários Empíricos e Modelação

4.1 A Estrutura da Cadeia de Abastecimento

De forma a testar-se a sensibilidade da cadeia de abastecimento às políticas de gestão seguidas em cada um dos níveis de atuação, foi imaginada uma estrutura constituída por um fabricante e um grossista que fornece dois retalhistas, os quais respondem a procuras aleatórias de clientes finais. O desenho da cadeia de abastecimento é apresentado de forma sintética na Figura 1.

Figura 1 - Estrutura da Cadeia de Abastecimento

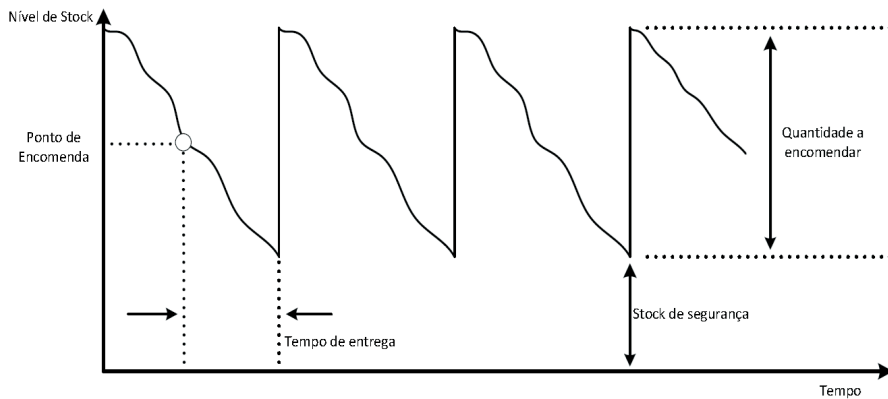


O grossista satisfaz diretamente a procura de cada retalhista, de acordo com as quantidades por estes encomendadas e definidas pelas políticas de gestão de *stocks* seguidas. Os pedidos dos clientes finais são aleatórios caracterizados por distribuições particulares. Não se admite qualquer transferência lateral entre os retalhistas, no caso de haver necessidade de produto para colmatar procuras não satisfeitas dos clientes finais. O grossista encomenda diretamente ao fabricante o item que precisa, de acordo com a política específica que segue, não se admitindo rotura ao nível do fabricante. Os tempos de entrega de encomendas do fabricante ao grossista e deste aos retalhistas têm características específicas de natureza aleatória.

Considerou-se duas políticas, em alternativa, a serem materializadas no grossista e retalhista. A escolha encontra justificação naquelas que na prática mais comumente são aplicadas (Muckstadt & Sapra, 2010), designadas habitualmente por ponto de encomenda e revisão cíclica. Cada uma das políticas apresenta vantagens e desvantagens que poderão conduzir o gestor a optar preferencialmente por uma delas. Salientando-se como mais relevantes, entre outras, a dimensão dos *stocks* de segurança, a possibilidade de consolidação de encomendas, a maior ou menor dificuldade de operação, etc. (Lopes & Matos, 2014).

O modelo de ponto de encomenda (P) baseia-se no facto de se efetuar uma encomenda de Q unidades quando o *stock* em mão atingir o ponto de encomenda s . A representação operacional da política é apresentada na Figura 2.

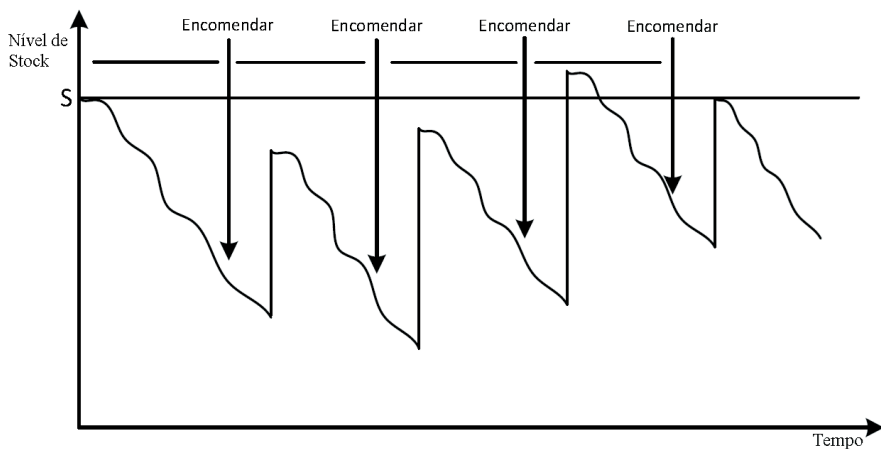
Figura 2 - Política do Ponto de Encomenda



Retirado de Lopes & Matos, (2014)

A política da revisão cíclica (R) fundamenta-se na observação do *stock* em mão de R em R unidades de tempo (período de revisão), encomendando-se a quantidade necessária para se atingir um nível S predefinido. A representação gráfica do procedimento é apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Política da Revisão Cíclica



Adaptado de Lopes & Matos, (2014)

Na circunstância foram consideradas cinco alternativas correspondentes às combinações possíveis para as políticas prosseguidas em cada nível da cadeia de abastecimento, conforme se apresenta no Quadro 1.

Quadro 1 - Políticas de Gestão de *Stocks* nos Diferentes Níveis da Cadeia de Abastecimento

Alternativa	Grossista (G)	Retalhista 1 (R_1)	Retalhista 2 (R_2)
1	P	P	P
2	P	P	R
3	R	R	R
4	R	P	R
5	R	P	P

No ponto seguinte são especificados os parâmetros que definem o cenário base e as distribuições estatísticas que caracterizam as variáveis aleatórias incluídas na modelação.

4.2 Definição de Parâmetros

O cenário base de experiência parte de um produto durável com preço unitário de 100 unidades monetárias (u.m.)/unidade (v), apresentando uma procura diária no nível dos clientes normal de média 220 unidades/dia (D) e com um desvio padrão de 28 unidades (σ_D). O tempo de entrega de encomenda do grossista para os retalhistas é igualmente normal de média 5 dias (L) e desvio padrão um dia (σ). Esta variável, ao nível da ligação grossista/fabricante, permanece normal mas com uma média inferior de valor 2.5 dias (L_G) e desvio padrão 0.5 dias (σ_G). Admitiu-se que o tempo interno de encomenda é sempre fixo e igual a 1 dia (preparação de pedido, preceitos de natureza administrativa, etc.). O custo fixo de encomenda foi estimado em 3 u.m./encomenda (A) e o de encomenda e revisão em cerca de 3.1 u.m./encomenda+revisão (M). A taxa de imobilização anual (r) tem um valor médio de amplitude idêntica à apresentada por Muckstadt (Muckstadt & Sapro, 2010) de 22.5%. A estimativa do custo de rotura por unidade em falta foi aproximada através da metodologia apontada por Anderson (Anderson, Fitzsimons & Simester, 2006) que admite um impacto a curto e médio prazos, não só na venda do produto, como em futuras encomendas, neste caso com um valor de 0.29 u.m./unidade em falta.dia (B_3v). No Quadro 2 são sintetizadas as características mais salientes dos parâmetros da experimentação.

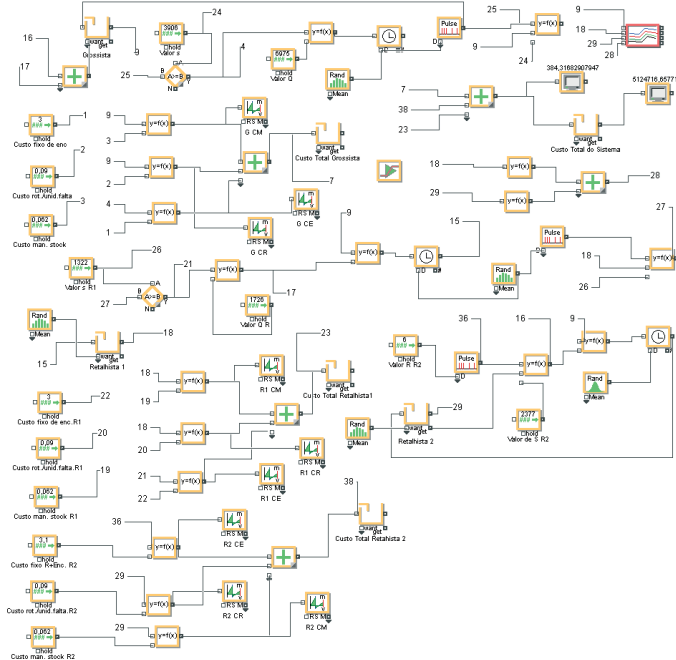
Quadro 2 - Parâmetros da Experimentação

ITEM	Procura média diária (D)	220
	Desvio padrão da procura diária (σ_D)	28
	Tempo médio de entrega de encomenda retalhistas/clientes (L)	5
	Desvio padrão do tempo de entrega de encomenda retalhistas/clientes (σ)	1
	Tempo médio de entrega de encomenda fabricante/grossista (L_G)	2.5
	Desvio padrão do tempo de entrega de encomenda fabricante/grossista (σ_G)	0.5
Custos (u.m)	Unitário (v)	100
	Fixo de encomenda (A)	3
	Revisão+encomenda (M)	3.1
	Imobilização (diário) (vr)	0.062
	Rotura (B_3v)	0.29

4.3 Os Modelos de Simulação

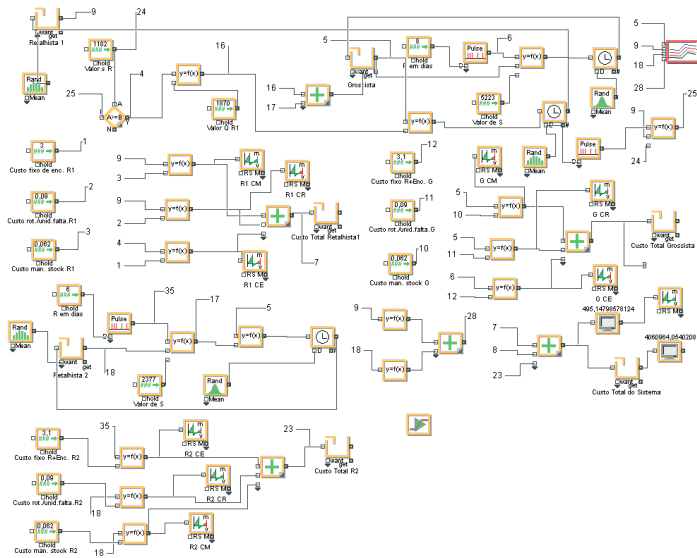
Os modelos de simulação das cinco estruturas admitidas para a cadeia de abastecimento foram desenvolvidas no ambiente *ExtendSim 8®*, sendo duas delas apresentadas, a título de exemplo, nas Figuras 4 e 5.

Figura 4 - Estrutura PPR1



1 Representa a estrutura de cadeia de abastecimento em que a política de ponto de encomenda é seguida pelo grossista (G) e um dos retalhistas (R1), utilizando o outro (R2) o procedimento da revisão cíclica.

Figura 5 - Estrutura RPR



As especificidades de funcionamento gerais e as particularidades de cada bloco poderão ser encontradas no manual deste programa (Imagine That, 2007). No entanto, são de referir os seguintes pontos:

- Foram apenas utilizados blocos das bibliotecas *Value* e *Plotter* dada a singularidade da simulação contínua utilizada.
- Não houve particular cuidado em reduzir significativamente a dimensão das amostras, pois em geral o tempo de computação não foi elemento restritivo em toda a experimentação. Apenas há a referir o tempo significativamente mais longo despendido durante a fase de otimização.
- Nos níveis da cadeia de abastecimento onde foi utilizada a política do ponto de encomenda, a observação do *stock* em mão, apenas é concretizada após a receção da encomenda. Esta condição evita a acumulação de pedidos em cada unidade de tempo enquanto a encomenda não é recebida, estando em linha com os procedimentos utilizados correntemente.

Em cada modelo foi introduzido o bloco *Optimizer* o qual inclui um algoritmo evolutivo (genético) com características idênticas às descritas no ponto 3 e detalhadas em Zvirgzdiņa & Tolujevs (2013). Foram estabelecidos intervalos de amplitude para as possíveis variações paramétricas suficientemente amplos para não representarem qualquer restrição à sua estimativa. O critério utilizado na otimização correspondeu à minimização do valor médio dos custos totais para uma dimensão de amostra especificada. Considerou-se uma população de soluções de tamanho 10, sendo 100 o número máximo de réplicas para se considerar

uma solução. A otimização conclui-se após se admitir uma convergência entre a população de soluções superior a 99.5% ou se completarem 1000 gerações (opção *better defaults*). Cada simulação foi desenvolvida com uma dimensão igual a 500 dias. Este processo foi, para se concretizar uma análise de sensibilidade aos custos de rotura, estendido para os valores de B_3v respetivamente iguais a 0.13 u.m./unidade em falta.dia (cerca do dobro do custo base de manutenção) e 0.09 u.m./unidade em falta.dia (uma vez e meia superior ao custo de manutenção). Refira-se que de acordo com a estrutura do cenário base o custo de rotura $B_3v=0.29$ u.m./unidade em falta.dia é cerca de cinco vezes o custo de imobilização (0.062 u.m./unidade.dia).

Após a fase de otimização e para os parâmetros aí determinados, procedeu-se ao cálculo dos valores totais médios diários de cada estrutura, diferenciados por natureza de custo (de manutenção e rotura), através de amostras simuladas com uma dimensão de 10^4 dias, tendo sido excluído um período inicial transiente (*warm-up period*) estimado através de observação gráfica, em 10^2 dias. Note-se que neste caso torna-se admissível efetuar comparações diretas dos resultados, dada a reduzida dimensão da variância dos estimadores. Trata-se aliás do procedimento geral seguido por Rinott (Rinott, 1978).

5. Análise de Resultados:

Tal como se referiu no ponto anterior foi concretizada a otimização para as cinco estruturas definidas e para os três níveis considerados para os custos unitários de rotura (0.29, 0.13 e 0.09 u.m./unidade em falta.dia), tendo-se obtido os resultados apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Resultados da Otimização Utilizando o Algoritmo Genético

Estrutura da Cadeia	Custo de Rotura (u.m./unidade em falta.dia)								
	0.29			0.13			0.09		
	Convergência (%)	Valor Médio	Parâmetros	Convergência (%)	Valor Médio	Parâmetros	Convergência (%)	Valor Médio	Parâmetros
PPP	98.44	321433.66	sG - 4414	99.22	257808.13	sG - 3967	99.46	236532.79	sG - 5090
			QG - 5619			QG - 5423			QG - 3734
			sR ₁ - 1902			sR ₁ - 1388			sR ₁ - 992
			QR ₁ - 1652			QR ₁ - 1745			QR ₁ - 1867
			sR ₂ - 2184			sR ₂ - 1781			sR ₂ - 1267
QR ₂ - 2511	QR ₂ - 2371	QR ₂ - 2481							
PPR	98.83	302934.34	sG - 3706	99.20	249980.65	sG - 4185	95.41	243561.55	sG - 3906
			QG - 7468			QG - 5791			QG - 6975
			sR ₁ - 1603			sR ₁ - 1458			sR ₁ - 1322
			QR ₁ - 1682			QR ₁ - 1593			QR ₁ - 1726
			SR ₂ - 2496			SR ₂ - 1528			SR ₂ - 2377
RR ₂ - 7	RR ₂ - 5	RR ₂ - 6							
RRR	99.51	184878.32	SG - 4592	99.11	147390.56	SG - 3749	99.56	151603.01	SG - 4389
			RG - 1			RG - 1			RG - 1
			SR ₁ - 1344			SR ₁ - 1772			SR ₁ - 909
			RR ₁ - 3			RR ₁ - 5			RR ₁ - 3
			SR ₂ - 2077			SR ₂ - 914			SR ₂ - 2115
RR ₂ - 5	RR ₂ - 2	RR ₂ - 7							
RPR	99.52	209087.78	SG - 4655	99.30	176217.24	SG - 4246	99.53	160440.96	SG - 4319
			RG - 1			RG - 1			RG - 1
			sR ₁ - 1650			sR ₁ - 965			sR ₁ - 988
			QR ₁ - 1848			QR ₁ - 2161			QR ₁ - 1646
			SR ₂ - 2662			SR ₂ - 2205			SR ₂ - 1149
RR ₂ - 7	RR ₂ - 6	RR ₂ - 4							
RFP	99.51	222370.08	SG - 4412	99.53	189391.89	SG - 4558	98.24	172106.63	SG - 4612
			RG - 1			RG - 1			RG - 2
			sR ₁ - 1583			sR ₁ - 1290			sR ₁ - 1054
			QR ₁ - 1607			QR ₁ - 1831			QR ₁ - 1601
			sR ₂ - 1696			sR ₂ - 1030			sR ₂ - 1214
QR ₂ - 1615	QR ₂ - 1808	QR ₂ - 1504							

Da sua análise torna-se saliente um conjunto de conclusões que importa salientar desde já. Das quinze otimizações realizadas um número significativo delas não atingiu o grau de convergência predefinido (99.5%), no entanto situaram-se todas acima dos 95% (*Quicker Defaults*) o que se pode considerar de nível aceitável para este tipo de análise. Em geral as estruturas que apresentam a política de revisão cíclica ao nível do grossista mostram valores de custos médios significativamente inferiores aqueles exibidos quando se utiliza o modelo de ponto de encomenda. Esta conclusão vem em linha com a investigação anteriormente concretizada por Lopes (Lopes & Matos, 2014). Este facto pode ser sustentado pelos custos substancialmente inferiores verificados na manutenção de *stocks*. A própria natureza da política conduz a que apenas se façam encomendas de R em R unidades de tempo e variáveis de acordo com o *stock* em mão existente na altura da revisão (note-se que no modelo de ponto de encomenda a quantidade a solicitar é constante o que torna a política mais rígida). Verifica-se também que esta tendência de redução de custos é tanto mais acentuada quanto mais elementos ao nível dos retalhistas utilizam a revisão cíclica. Nos grossistas a dimensão do período de revisão é bastante pequeno (na grande maioria dos casos de um dia) o que conduz a um resultado com grande importância prática, já que a observação do *stock* em mão é concretizada diariamente, encomendando-se uma

quantidade (variável) até se atingir o nível S. Trata-se de uma política variante que harmoniza a utilização dos dois procedimentos. Por um lado observa-se o sistema instante a instante (ponto de encomenda) e por outro encomenda-se uma quantidade definida pela diferença entre o *stock* em mão e S. Esta alternativa de política mais conservadora justifica-se, uma vez que roturas verificadas junto do grossista invariavelmente conduzem a perdas continuadas no sistema raramente recuperáveis. Este facto foi observado no desenrolar do processo de otimização.

É patente, ao nível dos grossistas, uma maior estabilidade paramétrica do que aquela verificada nos retalhistas. Este facto poderá encontrar explicação na circunstância de haver uma maior concentração de procura no primeiro nível da cadeia, o que conduz invariavelmente a valores menores da variância desta variável. É no entanto ainda saliente, a este nível, a maior estabilidade paramétrica apresentada pelas políticas de revisão cíclica quando comparadas com os resultados obtidos quando se utilizam os modelos do ponto de encomenda. Esta conclusão é observável mesmo para situações em que se verificam alterações significativas nos custos de rotura, o que leva a concluir da maior robustez prática do emprego de políticas de revisão cíclica.

Com a finalidade de se aprofundar a análise anterior desenvolveu-se uma simulação de 10^4 dias para cada estrutura da cadeia de abastecimento utilizando os parâmetros obtidos na otimização. Identificou-se visualmente para todos os cenários um período de aquecimento (*warm-up period*) de 10^2 dias o qual foi retirado do cálculo do valor médio dos custos diários de cada sistema. Foram definidos intervalos de confiança a 95% para aquele parâmetro, sendo os resultados apresentados no Quadro 4 e Figuras 6 e 7. Da observação destes resultados é possível concluir da sensibilidade das políticas ao aumento do custo unitário de rotura, apresentando em geral uma tendência positiva à medida que esta variável aumenta. Tornam-se agora mais salientes as conclusões a que se chegou anteriormente, nomeadamente:

- As estruturas que utilizam a política da revisão cíclica ao nível do grossista, apresentam custos substancialmente e estatisticamente menos elevados.
- A sensibilidade aos custos de rotura é mais acentuada para as estruturas que seguem a política do ponto de encomenda ao nível do grossista do que as restantes.

Quadro 4 – Intervalos de Confiança (95%) para o Valor Médio Diário dos Custos nas Várias Estruturas de Cadeia de Abastecimento Ensaçadas (n=10000 dias, W.up=100 dias)

Estrutura da Cadeia	Custo de Rotura (μ m/unidade em falta dia)		
	0.09	0.13	0.29
PPP	457.88 \pm 3.29	462.94 \pm 3.81	520.03 \pm 4.25
PPR	447.46 \pm 3.41	430.98 \pm 2.77	592.23 \pm 5.35
RPR	257.12 \pm 1.03	265.01 \pm 1.30	314.81 \pm 1.33
RPR	365.71 \pm 2.31	363.20 \pm 2.27	381.39 \pm 2.42
RPP	311.71 \pm 2.11	365.77 \pm 2.43	387.13 \pm 2.43

Figura 6 - Custos Totais Diários em Função dos Custos de Rotura para as Várias Estruturas de Cadeia de Abastecimento Ensaaiadas

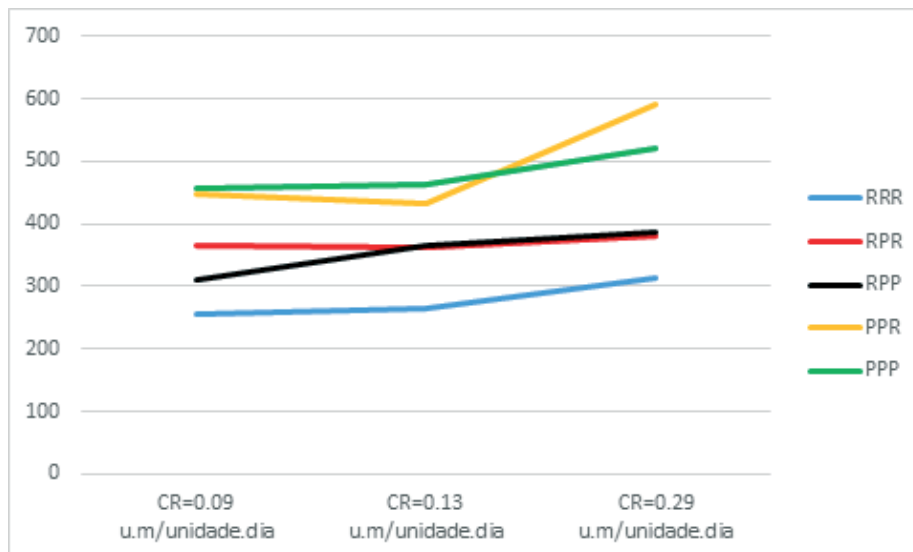
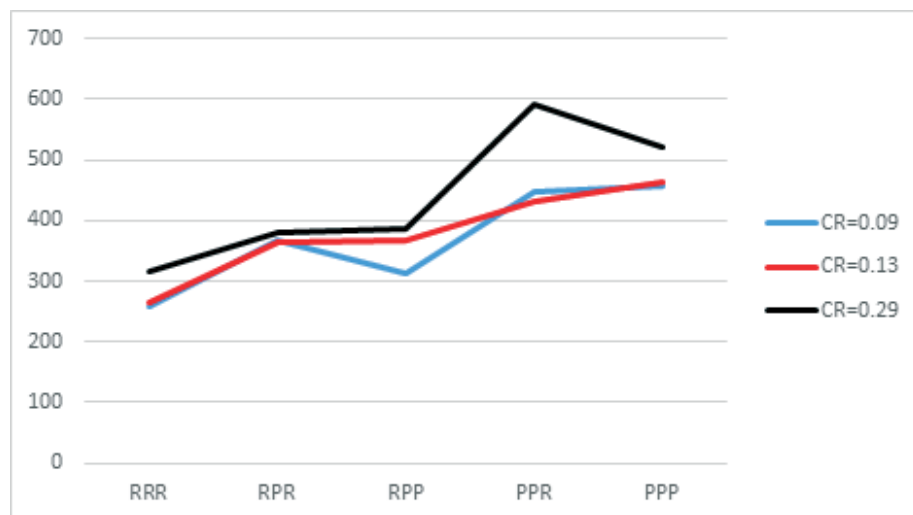


Figura 7 - Custos Totais Diários em Função das Estruturas de Cadeia de Abastecimento Ensaaiadas para os Vários Custos de Rotura



Com o objetivo de se concretizar uma análise mais fina foram discriminados os custos mais relevantes de cada nível (custo de rotura (CR) e de manutenção (CM)) para as várias estruturas ensaiadas. Uma vez mais foram concretizadas simulações com dimensões iguais a 10^4 dias, tendo-se retirado períodos de aquecimento de

grandeza 10^2 dias. Os resultados médios diários, bem como intervalos de confiança a 95% para estes parâmetros são apresentados no Quadro 5.

Da análise de resultados torna-se relevante salientar a importância dominante dos custos de manutenção, em especial no grossista, em relação a todos os outros. Os custos de rotura são mais significativos junto dos retalhistas, preferindo todas as opções apresentarem roturas muito reduzidas ao nível do grossista, mesmo para variações significativas deste custo unitário. Este resultado está de acordo com as conclusões salientadas anteriormente. Os custos de manutenção, em geral, aumentam à medida que o custo unitário de rotura é maior o que conduz a haver uma maior proteção a esta circunstância dada a sua influência nos custos totais diários de cada estrutura. As políticas de revisão cíclica nos grossistas, conduzem a valores dos custos de manutenção substancialmente inferiores aos verificados quando o procedimento utilizado é o do ponto de encomenda. Os custos fixos de encomenda determinados são marginais em relação aos observados nas restantes categorias.

Quadro 5 – Discriminação de Custos por Natureza para as Várias Estruturas da Cadeia de Abastecimento (n=10000 dias, W.up=100 dias)

		CR=0.29		CR=0.13		CR=0.09	
		Média		Média		Média	
		CR	CM	CR	CM	CR	CM
PPP	G	2.21 ± 0.51	413.41 ± 4.37	0.82 ± 0.24	341.62 ± 3.57	0.06 ± 0.04	306.44 ± 2.37
	R1	19.44 ± 1.53	73.26 ± 1.07	31.14 ± 1.23	34.17 ± 0.78	19.99 ± 0.66	28.77 ± 0.72
	R2	28.77 ± 1.85	85.69 ± 1.34	49.16 ± 1.85	41.30 ± 0.99	36.92 ± 1.14	33.25 ± 0.91
PPR	G	1.24 ± 0.38	434.33 ± 4.69	0.03 ± 0.04	324.84 ± 2.56	0.11 ± 0.05	419.99 ± 4.27
	R1	32.37 ± 1.70	53.68 ± 0.97	13.85 ± 0.66	38.14 ± 0.73	14.47 ± 0.62	44.12 ± 0.91
	R2	14.14 ± 1.45	48.19 ± 0.65	50.39 ± 0.89	2.37 ± 0.10	6.50 ± 0.33	26.19 ± 0.47
RPP	G	0.42 ± 0.14	210.83 ± 1.70	0.02 ± 0.03	257.83 ± 1.96	0.04 ± 0.03	172.60 ± 1.38
	R1	36.28 ± 1.80	36.81 ± 0.68	19.15 ± 0.77	37.19 ± 0.81	26.73 ± 0.76	18.42 ± 0.54
	R2	40.93 ± 2.11	38.48 ± 0.72	31.46 ± 1.00	26.49 ± 0.69	27.58 ± 0.83	19.85 ± 0.56
RPR	G	0.14 ± 0.09	224.81 ± 1.70	0.02 ± 0.03	235.73 ± 1.81	0.01 ± 0.01	209.70 ± 1.43
	R1	18.08 ± 1.11	64.19 ± 1.03	31.82 ± 1.13	44.58 ± 1.02	23.85 ± 0.71	20.73 ± 0.57
	R2	19.70 ± 1.04	33.15 ± 0.57	31.51 ± 0.82	10.87 ± 0.30	6.38 ± 0.28	20.03 ± 0.39
RRR	G	0.09 ± 0.07	294.93 ± 2.51	1.00 ± 0.17	166.56 ± 1.23	5.64 ± 0.61	167.99 ± 1.87
	R1	18.98 ± 0.99	24.24 ± 0.46	14.67 ± 0.44	14.26 ± 0.32	31.65 ± 0.63	4.27 ± 0.20
	R2	0.69 ± 0.19	80.05 ± 0.68	23.56 ± 0.78	33.40 ± 0.74	46.94 ± 1.04	13.21 ± 0.48

6. Conclusões

A investigação apresentada pretende ser um contributo metodológico para a análise da aplicação de políticas de gestão de *stocks* aos vários níveis de uma cadeia de abastecimento. Para se comparar a utilização destas políticas empregaram-se dois dos processos mais comumente aplicados (ponto de encomenda e revisão cíclica). Foi concebida uma cadeia de abastecimento constituída por quatro níveis

(um fabricante, um grossista, dois retalhistas e clientes finais) através da qual se satisfaz a procura de um produto durável com características correntes. Do trabalho concretizado, são em síntese salientes as seguintes conclusões:

- Os modelos analíticos de gestão de *stocks* aplicados a cadeias de abastecimento são amplamente utilizados, no entanto, não respondem a uma complexidade crescente destas, tornando-se na maioria dos casos simplificações ou aproximações insuficientes da realidade.
- A resposta à situação anterior consiste em utilizar em simultâneo a simulação e a otimização. Este processo tem demonstrado ser uma via quando se pretende melhorar o desempenho de cadeias de abastecimento e estabelecer aos vários níveis políticas ajustadas de gestão de *stocks*. No que à otimização concerne, o emprego de algoritmos genéticos e evolutivos tem revelado ser um curso a seguir não só pelo bom desempenho observado como pela menor complexidade no estabelecimento da ligação entre estes dois processos.
- Das quinze otimizações concretizadas um número significativo delas não atingiu o grau de convergência pré-estabelecido. No entanto, todas se situaram acima de 95%, considerando-se um nível adequado para a análise efetuada.
- A política da revisão cíclica ao nível do grossista apresenta valores dos custos totais médios para os vários sistemas em avaliação significativamente inferiores aos exibidos quando se emprega o modelo de ponto de encomenda, o que revela uma preferência nítida pela utilização desta política. A tendência de redução de custos nos sistemas é também tanto mais acentuada quantos mais elementos ao nível dos retalhistas utiliza aquele procedimento.
- No grossista a dimensão dos períodos de revisão é muito pequena (cerca de um dia) o que leva a concluir da utilização de uma política variante que harmoniza o emprego dos dois procedimentos (ponto de encomenda e revisão cíclica). Esta política apresenta características mais conservadoras em relação à possibilidade de a este nível se verificar rotura.
- Dada a maior concentração de procura verificada no grossista, é nítida a estabilidade paramétrica constatada a este nível (por uma menor variância desta variável). No entanto, é de relevar a estabilidade paramétrica apresentada pelas políticas de revisão cíclicas quando comparadas com aquelas de ponto de encomenda. Esta situação é mesmo observável em condições de alteração significativa dos custos de rotura, o que leva a concluir da maior robustez prática do emprego deste tipo de política.
- As várias estruturas consideradas são sensíveis, no que ao valor do custo médio concerne, à variação do custo unitário de rotura, com uma tendência positiva à medida que o valor desta variável cresce.
- Constata-se a importância dominante dos custos de manutenção, em especial no grossista, em relação a todos os outros.

- Os custos de rotura são mais significativos junto dos retalhistas, facto que poderá encontrar explicação não só na maior variabilidade verificada na procura como no que é descrito no ponto seguinte.
- Todas as estruturas preferem apresentar custos de rotura muito reduzidos ao nível do grossista, mesmo para variações significativas deste custo unitário. Esta circunstância poderá encontrar explicação na dificuldade do sistema vir a estabilizar e recuperar por uma escassez verificada no grossista. A observação tornou-se patente quando do processo de otimização, verificando-se que opções que consideravam rotura ao nível do grossista raramente recuperavam de uma situação de perda continuada.
- Os custos de manutenção em geral aumentam à medida que o custo unitário de rotura é maior, o que conduz naturalmente a uma maior proteção a esta circunstância, dada a sua influência nos custos totais diários de cada estrutura.
- As políticas de revisão cíclica conduzem em geral (especialmente ao nível do grossista) a valores dos custos de manutenção substancialmente inferiores aos verificados quando o procedimento utilizado é o do ponto de encomenda. Esta situação julga-se ser inerente à própria natureza do procedimento, conforme se referiu.

7. Bibliografia

- Akkermans, H.A., Bogerd, P., Yücesan, E. e van Wassenhove, L.N. (2003). The impact of ERP on supply chain management: Exploratory findings from a European Delphi study. *European Journal of Operational Research*, Vol. 146, No. 2. p. 284-301.
- Anderson, E.T., Fitzsimons, G.J. e Simester, D. (2006). Measuring and Mitigating the Costs of Stockouts. *Management Science*, Vol. 52, No. 11. p. 1751-1763.
- Beamon, Benita M. (1998), Supply chain design and analysis: Models and methods. *International Journal of Production Economics*, Vol. 55, Iss. 3. p. 281-294.
- Bertrand, J. Will M. e Fransoo, Jan C. (2002). Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 22, Iss. 2. p. 241-264.
- Bottani, Eleonora e Montanari, Roberto. (2010). Supply chain design and cost analysis through simulation. *International Journal of Production Research*, Vol. 48, No. 10. p. 2859-2886.
- Bottani, Eleonora, Ferretti, Gino, Montanari, Roberto, Vignali, Giuseppe, Longo, Francesco e Bruzzone, Agostino. (2013). Design of supply networks with optimized safety stock levels. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, Vol. 5, No. 2. p. 93-109.

- Buchholz, Peter e Thümmel, Axel. (2005). Enhancing Evolutionary Algorithms with Statistical Selection Procedures for Simulation Optimization. Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference. p. 842-852
- Chan, Felix T.S. e Chan, H.K. (2005). Simulation modeling for comparative evaluation of supply chain management strategies. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 25. p. 998-1006.
- Cheng, Chen-Yang, Chen, Tzu-Li e Chen, Yin-Yann. (2013). An analysis of the structural complexity of supply chain networks. *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 33. p. 2328-2344.
- Chopra, Sunil e Meindl, Peter. (2007). *Supply chain management*. Upper Saddle River, Pearson Prentice Hall.
- Daniel, J. Sudhir Ryan e Rajendran, Chandrasekharan. (2005). A simulation-based genetic algorithmic for inventory optimization in a serial supply chain. *International Transactions in Operational Research*, Vol. 12, Iss.1. p. 101-127.
- Dellino, Gabriella, Meloni, Carlo e Pierreval, Henri. (2014). Simulation-optimization of complex systems: Methods and applications. *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 46. p. 1-3.
- Deng, Geng. (2007). *Simulation-Based Optimization*. Doctor of Philosophy Thesis. University of Wisconsin-Madison.
- ExtendSim User Guide. (2007). *Imagine That*.
- Fleischmann, Moritz, Bloemhof-Ruwaard, Jacqueline M., Dekker, Rommert, van der Laan, Erwin, van Nunen, Jo A.E.E. e Wassenhove, Luk N. Van. (1997). Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*, Vol. 103, Iss. 1. p. 1-17.
- Fu, M. (2014). *Handbook of Simulation Optimization*. Springer.
- Fu, M.C. (2002). Optimization for Simulation: Theory vs. Practice. *Journal on Computing*, Vol. 14, No. 3. p. 192-215.
- Fu, Michael C., Bayraksan, Guzin, Henderson, Shane G., Nelson, Barry L., Powell, Warren B., Ryzhov, Ilya O. e Thengvall, Ben. (2014). Simulation Optimization: A panel on the State of the Art in research and practice. Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference. p. 3696-3706.
- Ganeshan, Ram, Jack, Eric, Magazine, Michael J. e Stephens, Paul. (1999). A Taxonomic Review of Supply Chain Management Research. *Quantitative Models for Supply Chain Management*. Kluwer Academic Publishers. p. 840-856.
- Hwang, H.Brian, Chong, C.S.P., Xie, N. e Burgess, T.F. (2005). Modelling a complex supply chain: understanding the effect of simplified assumptions. *International Journal of Production Research*, Vol 43, Iss. 13. p. 2829-2872.
- Ingalls, R.G. (1998). The Value of Simulation in Modeling Supply Chains. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, Vol. 2. p. 1371-1375.
- Ivanov, Dmitry e Sokolov, Boris. (2010). *Adaptive Supply Chain Management*. Springer-Verlag London.
- Kopytov, Eugene e Muravjovs, Aivars. (2011). *Simulation of Inventory Control*

- System for Supply Chain “Producer-Wholesaler-Client” in ExtendSim Environment. Proceedings 25th European Conference on Modelling and Simulation. p. 580-586.
- Lee, Hau L., Padmanabhan, V. e Whang, Seungjin. (1997). The Bullwhip Effect In Supply Chains. *Sloan Management Review*, Vol. 38, Iss. 3. p. 93-102.
- Lee, Hau L., Padmanabhan, V. e Whang, Seungjin. (2004). Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect. *Management Science* Vol. 50. p. 1875-1886.
- Long, Qingqi e Zhang, Wenyu. (2014). An integrated framework for agent based inventory-production-transportation modeling and distributed simulation of supply chains. *Information Sciences*, Vol. 277. p. 567-581.
- Longo, Francesco e Mirabelli, Giovanni. (2008). An advanced supply chain management tool based on modeling and simulation. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 54, Iss. 3. p. 570-588.
- Lopes, J. e Matos, J. (2014). Heurísticas em Gestão de Stocks: Evidências Empíricas de Operação. *Lusiáda Economia & Empresa*. Lisboa. Vol. 18. p. 137-161.
- Lopes, J. (2013). Simulação Discreta de Sistemas de Gestão. *Monitor*.
- Maguire, J. (1972). Discrete Computer Simulation - Technology and Applications - The Next Ten Years. Proceedings of the Spring Joint Computer Conference. p. 815-826.
- Melouk, Sharif H., Freeman, Nickolas K., Miller, David e Dunning, Michelle. (2012). Simulation optimization-based decision support tool for steel manufacturing. *International Journal Production Economics*, Vol. 141, Iss. 1. p. 269-276.
- Min, Hokey e Zhou, Gengui. (2002). Supply chain modeling: past, present and future. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 43, Iss. 1-2. p. 231-249.
- Muckstadt, J.A. e Sapra, A. (2010). Principles of Inventory Management. Springer Series in Operations Research and Financial Engineering.
- Ólafsson, Sigurdur e Kim, Jumi. (2002). Simulation Optimization. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference. p. 79-85.
- Pidd, M. (1996). Tools for Thinking: Modeling in Management Science. John Wiley & Sons.
- Rinott, Y. (1978). On two-stage selection procedures and related probability-inequalities. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, Vol. 7, Iss. 8. p. 799-811.
- Seco, Alexandra e Vieira, Carlos. (2014). A multi-agent supply chain simulation analysis through a statistical mixed model. *International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies*, Vol. 16. p. 163-171.
- Sethi, Suresh P, Yan, Houmin e Zhang, Hanqin. (2005). Inventory and supply chain management with forecast updates. New York. Springer.
- Sethupathi, P.V. Rajendra, Rajendran, Chandrasekharan e Ziegler, Hans. (2014). A Comparative Study of Periodic-Review Order-Up-To (T, S) Policy and Continuous-Review (s, S) Policy in a Serial Supply Chain Over a Finite

- Planning Horizon. Supply Chain Strategies, Issues and Models. London. Springer. p. 113-152.
- Shalliker, J. e Suleman, A. (2012). Guia de Simulação Discreta por Computador usando Simul8.
- Sherbrooke, Craig C. (1968). Metric: A Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control. *Operations Research*, Vol. 16, No. 1. p. 122-141.
- Silver, Edward A, Pyke, D. F, Peterson, Rein. (1998). *Inventory management and production planning and scheduling*. New York. Wiley.
- Soysal, Mehmet, Bloemhof, Jacqueline M. e van der Vorst, Jack G.A.J. (2012). A Review on Quantitative Models for Sustainable Food Logistics Management: Challenges and Issues. *International Journal on Food System Dynamics*, Vol. 3, No 2. p. 448-462.
- Yadav, S.R., Muddada, R.R., Tiwari, M. e Shankar, R. (2009). An algorithm portfolio based solution methodology to solve a supply chain optimization problem. *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, Iss. 4. p. 8407-8420.
- Zvirgzdiņa, B. e Totujevs, J. (2013). Evolutionary Optimization of a Flow Line used ExtendSim Built-In Optimizer. *Proceedings of 13th International Conference "Reliability and Statistics in Transportation and Communication"*. Riga, Latvia. p. 155-162.