

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO COPPEAD DE ADMINISTRAÇÃO

HENRIQUE DE CASTRO AUGUSTO ALVARENGA

**Revisão de Sistemas de Inferência *Fuzzy* Aplicados a Decisões de
Alocação de Estoques**

Rio de Janeiro

2016

HENRIQUE DE CASTRO AUGUSTO ALVARENGA

**Revisão de Sistemas de Inferência *Fuzzy* Aplicados a Decisões de
Alocação de Estoques**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto COPPEAD de Administração, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Administração (M.Sc.).

ORIENTADOR: Peter Fernandes Wanke, Ph.D.

Rio de Janeiro

2016

CIP - Catalogação na Publicação

AA473r Alvarenga, Henrique
Revisão de Sistemas de Inferência Fuzzy
Aplicados a Decisões de Alocação de Estoques /
Henrique Alvarenga. -- Rio de Janeiro, 2016.
53 f.

Orientador: Peter Wanke.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal
do Rio de Janeiro, Instituto COPPEAD de
Administração, Programa de Pós-Graduação em
Administração, 2016.

1. Alocação de Estoques. 2. Inferências Fuzzy.
3. Sistemas Fuzzy. I. Wanke, Peter, orient. II.
Título.

HENRIQUE DE CASTRO AUGUSTO ALVARENGA

REVISÃO DE SISTEMAS DE INFERÊNCIA FUZZY APLICADOS A DECISÕES DE
ALOCAÇÃO DE ESTOQUE

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto COPPEAD de Administração, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Administração.

Aprovada por:

(Peter Fernandes Wanke, Ph.D. Coppead)

(Luis Antonio Dib, D.Sc. Coppead)

(Jesús Domech Moré, D.Sc. UNESA)

Rio de Janeiro

2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, pela paz e pela serenidade que sempre me acompanhou ao longo desta jornada.

Agradeço a meu pai, Arlindo, e a minha mãe, Luiza, pelo amor incondicional, pelos ensinamentos e por sempre me apoiarem em minhas decisões.

A meu irmão, Gabriel, agradeço pelo companheirismo contínuo, por suas palavras e pelo apoio que me deu em vários momentos.

A minha irmã Ana Luiza, a seu marido Alessandro e aos queridos *nipotinos* Antonella e Vittorio, que serão sempre um exemplo de família e de amor.

A Bruna, que esteve presente mesmo distante, constante em meus pensamentos e em meu coração. Sempre dócil e amável, muito obrigado.

A meu orientador Peter Wanke, com seus direcionamentos que me trouxeram até aqui, com suas indicações de leitura e por ter sido uma verdadeira inspiração.

Aos participantes da minha banca, professores Luis Antonio Dib e Jesús Domech Moré, agradeço às correções que lapidaram o presente trabalho.

Aos amigos que fiz ao vir morar no Rio de Janeiro, e àqueles de Vitória que sempre estiveram presentes em meus retornos, um forte abraço.

Aos parentes e familiares que, apesar de distantes, sempre torceram pelo sucesso de minha carreira. Amo muito todos vocês.

Por fim, agradeço muito ao Coppead, por ter me dado a oportunidade de cursar o mestrado com professores de alto nível e a seus funcionários dedicados e atenciosos.

RESUMO

ALVARENGA, Henrique de Castro Augusto. Revisão de Sistemas de Inferência *Fuzzy* Aplicados a Decisões de Alocação de Estoque. Rio de Janeiro, 2016. Dissertação (Mestrado em Administração) - Instituto COPPEAD de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

A alocação de estoque em um sistema de distribuição se encarrega das decisões acerca das quantidades e locais para manutenção dos estoques em uma cadeia de suprimentos. Em um contexto em que o estoque a ser distribuído é menor do que as quantidades ordenadas pelos níveis inferiores da cadeia, a decisão de quanto alocar deve, basicamente, levar em consideração o *trade-off* entre custos e nível de serviço. No presente trabalho é feita a revisão de um sistema para tomada de decisão desenvolvido via lógica *fuzzy*, considerando os custos de manutenção, pedido, transporte e falta. Este sistema é comparado a outros três modelos de alocação através de simulações de variados cenários. Com os resultados dos custos totais e níveis de serviço de cada modelo é possível verificar qual deles atende melhor às expectativas gerenciais e fornecer subsídios para uma melhor tomada de decisão.

Palavras-chave: Alocação de estoque, inferências *fuzzy*, sistemas *fuzzy*.

ABSTRACT

ALVARENGA, Henrique de Castro Augusto. Revisão de Sistemas de Inferência Fuzzy Aplicados a Decisões de Alocação de Estoque. Rio de Janeiro, 2016. Dissertação (Mestrado em Administração) - Instituto COPPEAD de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

The inventory allocation in a distribution system is in charge of the decisions about how many and where the stocks should be allocated in a supply chain. In a context where the size of the inventory is lower than the amount of items ordered by the lower echelons in the chain, the decision about how many items allocate must, in a few words, take into consideration the trade-off between costs and service level. In the present work, a review of a decision-making system using fuzzy logic is made, considering maintenance, order, transport and shortage costs. This system is compared with three others allocation models through simulation of different scenarios. With the results on costs e service level of each model, it is possible to verify which attends better the managerial expectations and to provide information for a better decision making.

Keywords: Inventory allocation, *Fuzzy* inferences, *Fuzzy* systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Artigos de gestão de estoque utilizando fuzzy.....	19
Figura 2: Esquema do sistema de distribuição contendo armazém e N varejos.....	27
Figura 3: Estrutura do DMS-SA Rev.	28
Figura 4: Critérios que relacionam os inputs ao output.....	28
Figura 5: Inputs demanda, custo de manutenção, custo fixo e custo da falta e output índice de prioridade, cada um com suas funções de pertinência.....	30
Figura 6: Base de regras adotadas.	31
Figura 7: Pseudo-código para o Sistema de Inferência Fuzzy modelado no R.	35
Figura 8: Nível de serviço do sistema de distribuição para os quatro cenários simulados.....	38
Figura 9: Custo total do sistema de distribuição para os quatro cenários simulados.	39
Figura 10: Ganhos percentuais em custo total do modelo proposto comparado aos outros modelos variando-se a quantidade de varejos.	41
Figura 11: Curvas de densidade de probabilidade comparando o modelo DMS-SA Rev. com os outros modelos em termos de custo total.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores propostos para a simulação.	36
Tabela 2: Teste de Kruskal-Wallis entre resultados do DMS-SA Rev. comparado aos outros modelos em termos de nível de serviço e custo total.....	39
Tabela 3: Resultados da regressão linear múltipla com variável dependente custo total e variáveis independentes cenário e modelo.	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	GESTÃO DE ESTOQUE <i>FUZZY</i>.....	13
2.2	ALOCAÇÃO DE ESTOQUE	21
2.3	ALOCAÇÃO DE ESTOQUE <i>FUZZY</i>.....	24
3	METODOLOGIA	26
3.1	DEFINIÇÕES BÁSICAS.....	26
3.2	ESTRUTURA DO MODELO DMS-SA REV.	28
3.3	QUANTIDADES ALOCADAS E PARÂMETROS COMPARATIVOS	32
4	CENÁRIOS E SIMULAÇÃO	34
5	ANÁLISE DE RESULTADOS	38
6	CONCLUSÃO	44
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

A partir dos anos dois mil percebe-se que o ambiente competitivo vem, de maneira crescente, obrigando as empresas a manterem operações mais eficientes possíveis. A globalização do comércio, as demandas por produtos personalizados, a proliferação de competidores e as mudanças e inovações nos modelos de negócio tem sustentado este cenário crítico para a sobrevivência dos empreendimentos (DANIEL e RAJENDRAN, 2005). Soma-se a isto a complexidade que permeia as decisões tomadas neste contexto. A atenção às operações é, portanto, fundamental.

Nesse sentido o Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos pode ser definido como a atividade de gerenciamento *downstream* e *upstream* para entrega de valor superior aos consumidores a baixo custo (CHRISTOPHER, 1998). As decisões na Cadeia de Suprimentos podem ser classificadas em três termos: estratégicas, táticas e operacionais (DANIEL e RAJENDRAN, 2005). Quando observamos a perspectiva operacional, poderíamos observar quatro áreas de interesse de pesquisa: gerenciamento e controle de estoque, planejamento e produção, compartilhamento, coordenação e monitoramento de informações e ferramentas operacionais (TAYUR e GANESHAN, 2012).

Dado que os custos de manutenção de estoque podem chegar a 40% de seu valor por ano, seu gerenciamento eficiente é fundamental para as atividades de qualquer empresa (GANESHAN, 1999). Em empresas manufatureiras, esse fato é amplificado dado que o estoque pode representar até 60% dos ativos da empresa (GIANNOCCARO, PONTRANDOLFO e SCOZZI, 2003).

Um ponto em gestão de estoque que tem bastante relevância para a eficiência de toda a cadeia de suprimentos é a alocação de estoque, que pode ser definida como as decisões referentes à distribuição e localização do estoque entre fornecedores e clientes. Observa-se que ignorar tal dimensão, fato que acontece corriqueiramente em empresas, pode ser desastroso

para suas operações, levando a decisões de distribuição questionáveis (DE VERICOURT et al, 2002).

Dada sua importância, a alocação de estoque entre os variados níveis da cadeia tem sido um tema recorrente de pesquisa nos últimos anos, como observamos nos trabalhos de Eren e Chan (2015), Kristianto et al (2014), Pérez-Rodríguez e Holguín-Veras (2015) e Wu e Yeh (2014).

Com o passar do tempo, a complexidade, e conseqüentemente, a sofisticação dos sistemas de alocação foram crescendo. Mudanças nos cenários econômicos, novos modelos de negócio e a busca constante por inovação criaram cenários de incertezas que dificultaram muito a definição dos elementos chave para a tomada de decisão. A dificuldade de estimar demanda de produtos com ciclos de vida cada vez menores e que não possuem séries históricas e os custos de produtos sobre os quais não se pode estimar prazos de obsolescência enfraquecem as políticas de alocação tradicionais (GIANNOCCARO et al, 2003).

Dadas as complexidades e as incertezas envolvidas nas definições das variáveis, uma alternativa às definições probabilísticas para a tomada de decisão de alocação de produtos é a utilização da computação *soft*, capaz de incorporar as imprecisões existentes nas decisões humanas em algoritmos computacionais. Dentre os tipos mais utilizados, destacam-se os algoritmos genéticos, redes neurais e a lógica *fuzzy* (KO et al, 2010).

A lógica *fuzzy* é um dos ramos da chamada computação *soft*, que se propõe à resolução de problemas reais com a utilização de metodologias que possuam capacidade flexível para processamento de informações. Tais ferramentas possuem o poder de analisar informações incompletas e vagas e fornecer soluções satisfatórias a baixo custo computacional (KO et al, 2010).

O presente estudo visa revisar o modelo em lógica *fuzzy* desenvolvido por Xie e Petrovic (2006) para tratar de alocação de estoques em um ambiente cercado de incertezas sobre as

variáveis que norteiam a tomada de decisão. O objetivo final é desenvolver um modelo que considere além do custo de manutenção, os custos de transporte, de pedido e de falta. Desta forma, será obtido um modelo com mais elementos e mais próximo à realidade. A importância deste estudo repousa na necessidade de lidar de maneira eficiente com o *trade-off* entre nível de serviço e o custo total, buscando-se atender a demanda dos pontos de venda sem incorrer em altos custos. Além disso, em ambientes de alta complexidade, onde existe muita vagueza e subjetividade permeando a tomada de decisão, a utilização da lógica *fuzzy* torna-se bastante atrativa dado seu potencial para resoluções de problemas nestes contextos incertos.

O trabalho está organizado da seguinte forma: O capítulo 2 traz a revisão de literatura sobre o tema. O capítulo 3 tratará da metodologia, descrevendo como o modelo foi estruturado. O capítulo 4 irá abordar os cenários utilizados, apresentando os dados e a estrutura para as simulações. O capítulo 5 tratará dos resultados obtidos nas simulações, além de suas análises e discussões. O capítulo 6 traz a conclusão e as sugestões de trabalhos futuros e, por fim, o capítulo 7 reúne as referências bibliográficas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Para formação do arcabouço teórico do presente trabalho serão tratados os assuntos que contextualizam o tema. Primeiramente a aplicação da lógica *fuzzy* na área de gestão de estoque, em seguida citando como a alocação de estoque tem sido explorada nos últimos tempos e finalmente as recentes aplicações da lógica *fuzzy* no contexto de alocação de estoque.

2.1 GESTÃO DE ESTOQUE *FUZZY*

Dadas as incertezas que permeiam o ambiente de gestão de estoque, uma alternativa à utilização dos métodos tradicionais e probabilísticos é o uso da lógica *fuzzy*, desenvolvida a partir dos conjuntos *fuzzy* introduzidos no artigo seminal de Lofti A. Zadeh (ZADEH, 1965). Ao passo que os modelos de gestão de estoque probabilísticos vêm sendo utilizados desde a década de 50, a utilização da lógica *fuzzy* neste contexto iniciou-se somente na década de 90 (KAO e HSU, 2002b).

Uma das primeiras aplicações da lógica *fuzzy* para gestão de estoque ocorreu para a determinação do Lote Econômico de Compra (LEC), cujo objetivo é definir um tamanho de pedido de forma a minimizar o custo total. Yao e Lee (1999) utilizaram os conjuntos *fuzzy* e modelaram o tamanho do pedido como uma função de pertinência do tipo trapezoidal. Os autores determinaram o LEC via cálculos tradicionais, utilizando um único número (*crisp*) para representar as variáveis envolvidas, e via simulações numéricas utilizando lógica *fuzzy* para representar as variáveis. O custo total obtido pelos autores em ambos os casos foi similar.

Samal e Pratihari (2014) modelaram as variáveis demanda, custo de manutenção (custo de oportunidade envolvido na manutenção de um estoque), custo de pedido (custo referente à atividade de realizar um pedido de itens para um dado estoque) e custo de *backorder* (custo envolvido quando há atraso no atendimento de uma demanda) como variáveis *fuzzy*, e fizeram simulações utilizando algoritmos genéticos e por enxame de partículas (*particle swarm*

optimization) para definição do LEC. Além do objetivo de redução do custo total, também buscaram maximizar a confiança de que seriam capazes de manter o custo total dentro de um dado orçamento. A simulação foi validada com casos reais.

Tanto Yao e Lee (1999) quanto Samal e Pratihar (2014) simularam situações em que se exerce o *backorder* e situações em que não se exerce. No entanto, os últimos afirmaram que os custos totais podem ser reduzidos de maneira substancial ao se utilizar não somente do tamanho do pedido sugerido pelo modelo, mas utilizando certo nível de *backorder*.

Outra abordagem da lógica *fuzzy* em gestão de estoque é vista na definição do modelo de revisão contínua. Este modelo estabelece um nível de estoque que quando atingido, é feita uma ordem para compra de um pedido de tamanho fixo (TANTATEMEE e PHRUKSAPHANRAT, 2012). Tal modelo pode apresentar incertezas na determinação da demanda e do *lead time*, o que dificulta a definição do tamanho de pedido.

Gen et al (1997) utilizou um modelo em lógica *fuzzy* para uma política de revisão contínua que fornecia como *output* um intervalo de interesse para as variáveis tamanho do pedido e custo total. Tal intervalo permite que o gerente tome a decisão em um intervalo de confiança e não seja guiado por um único valor. As incertezas estavam presentes nos custos de manutenção e de falta, sendo, portanto, modelados como variáveis *fuzzy*. A demanda e o ponto de pedido foram tratados como constantes.

Kao e Hsu (2002b) introduzem o custo da falta na equação de custo total. Ao contrário de Gen et al (1999), consideram os custos constantes e a demanda incerta, sendo, portanto, modelada como variável *fuzzy*. Seu objetivo é definir uma política (Q,r), ou seja, definir o tamanho e o ponto de pedido de forma a minimizar os custos totais. Ao introduzir o custo da falta, os autores tentam resolver o *trade-off* entre os custos referentes ao excesso de estoque com o custo referente à sua escassez.

Handfield et al (2009) buscou definir uma política (Q,r), similarmente aos autores supracitados. Além de considerar incertezas presentes na demanda, de forma similar a Kao e Hsu (2002b), e no custo de manutenção, como fez Gen et al (1997), os autores introduziram incertezas quanto ao *lead time*, ao desempenho dos fornecedores (percentual de pedido aceito), aos custos referentes a multas e penalidades e à atitude do tomador de decisão frente ao risco.

Tantateme e Phruksaphanrat (2012) também buscaram definir o tamanho e o ponto de pedido. Para tanto, modelaram a demanda e a disponibilidade de fornecimento como *inputs* do sistema *fuzzy*. Utilizando dados históricos para definir os parâmetros das funções de pertinência, obteve-se um modelo de controle de estoque que reduziu drasticamente os custos totais, representados pelos custos de manutenção, pedido e falta, quando comparado a um modelo probabilístico tradicional.

Tanto Handfield et al (2009) quanto Tantateme e Phruksaphanrat (2012) introduziram incertezas quanto aos elementos a montante da cadeia, ou seja, consideraram certos *inputs* do fornecimento como variáveis *fuzzy*.

Wang et al (2012) estabeleceram que parte da demanda não atendida é representada por um custo da falta, enquanto que a outra parte se torna um pedido em *backorder*. Como variáveis *fuzzy*, ele considera dois elementos referentes à demanda: o primeiro relacionado à demanda anual média e o segundo como a demanda durante o *lead time*. Similarmente a Samal e Pratihari (2014) os autores estabelecem dois modelos, um que tem por objetivo reduzir o custo total, e outro que tenta maximizar a credibilidade de que o orçamento estabelecido não será ultrapassado pelos custos.

Outro modelo de gestão de estoque bastante conhecido é o modelo de revisão periódica, em que o ponto de pedido é fixo, ou seja, as ordens são feitas em intervalos fixos, e o tamanho do pedido varia, de acordo com o nível de estoque naquele momento. Este modelo também é conhecido como modelo (T,r), em que T está relacionado ao período em que o estoque é

revisado e r representa o ponto de pedido. Este modelo também depende da demanda e do *lead time* para definição de seus parâmetros, e, portanto, depende da boa incorporação das incertezas existentes (TANTATEMEE e PHRUKSAPHANRAT, 2012; SARKAR e MAHAPATRA, 2015).

Lin (2008) apresenta um modelo de revisão periódica que considera o *lead time* variável e que existem incertezas na demanda não atendida. Busca-se minimizar o custo total e fornecer os valores ótimos para o período de revisão e *lead time*.

Além de utilizar o período de revisão e o *lead time*, similarmente a Lin (2008), Sarkar e Mahapatra (2015) consideraram também o ponto de pedido como variável de decisão. Os autores modelaram a demanda como variável *fuzzy* e buscaram a minimização dos custos totais. Além da otimização das variáveis de decisão, buscou-se a definição de um preço de *backorder*. Foi calculado também o quanto a informação sobre a demanda durante o *lead time* adiciona de valor, através do parâmetro EVAI (*Expected Value of Additional Information*).

A lógica *fuzzy* se aplica a outros casos além da definição de políticas de estoque contínua e periódica. Num problema de pedido único, também conhecido como problema do jornaleiro (*newsboy problem*), existe a necessidade de estabelecer um estoque de um item de alta perecibilidade e de demanda muito incerta, como é o caso de se prever a demanda da compra de um jornal, sabendo que no dia seguinte este item não terá mais valor algum.

Chen e Ho (2011) contemplam num contexto de pedido único a possibilidade de descontos dependendo da quantidade comprada. Esta prática é bastante comum e, portanto, a análise é pertinente. O objetivo é definir o tamanho do pedido e minimizar os custos por unidade, considerando descontos incrementais e demanda *fuzzy*, além de sugerir ao tomador de decisão em que momento ele deve ser mais ou menos agressivo em relação a tomar o desconto oferecido.

Conforme Chen e Ho (2011), Hu et al (2010) também consideraram a demanda como uma variável *fuzzy*, buscando além da definição do tamanho do pedido qual preço de recompra ideal para peças defeituosas por parte do fabricante. Neste trabalho o objetivo era a maximização do lucro de toda a cadeia, considerando que parte dos itens fabricados apresentaria uma taxa de defeitos.

Ainda no contexto do *newsboy problem*, Su et al (2011) estabeleceram um índice que representa a lucratividade para definir o tamanho do pedido. Como os dois trabalhos anteriores, Su et al (2011) modelaram a demanda como uma variável *fuzzy*. As regras de inferência são utilizadas para contemplar as incertezas presentes no modelo probabilístico, sendo, portanto, uma solução híbrida, parte probabilística, parte via lógica *fuzzy*.

Existem outras aplicações em gestão de estoque em que a lógica *fuzzy* foi empregada. Uma das técnicas de classificação de itens em estoque mais utilizadas é a ABC, que consiste em segregar itens críticos e não críticos de acordo com determinados critérios e auxiliar na tomada de decisão referente ao estoque. Chu et al (2008) utilizaram a lógica *fuzzy* para criar uma classificação ABC multicritério de fácil implementação. Além de informar a criticidade dos itens, foram sugeridas algumas políticas de controle de estoque.

Katagiri e Ishii (2002) utilizaram uma modelagem matemática para a gestão de estoque considerando um único produto perecível. O custo de manutenção é dependente da validade restante do produto e os custos da falta e de obsolescência são *fuzzy*. O objetivo é maximizar o lucro frente a uma demanda estocástica e com dois tipos de clientes, um que só aceita produtos novos e outro que aceita produtos mais antigos desde que descontados. Para maiores referências em relação à gestão de estoque de produtos perecíveis, referenciar-se a Nahmias (1982).

Os trabalhos descritos até aqui estão reunidos na tabela 1, que sintetiza objetivos e variáveis que cada artigo apresentou. Vale ressaltar o trabalho de Tantatemme e Phruksaphanrat

(2012), o único apresentado que utilizou inferências *fuzzy*, ou seja, um algoritmo programado em lógica *fuzzy* aplicado a um software, para resolução do problema exposto.

Conforme se pôde observar nos trabalhos descritos, a lógica *fuzzy* tem sido vastamente aplicada para técnicas de controle de estoque. Observa-se que a maioria dos trabalhos se preocupa em responder o *quanto* e *quando* pedir. Esta categoria de decisão é chamada de Reposição de Estoque. Outra categoria de decisão importante para controle de estoque é chamada de Alocação de Estoque, preocupada em responder *onde* posicionar tais estoques (DE LEEUW et al, 1999).

Algumas regras e modelos envolvendo a alocação de estoque serão discutidas a seguir.

Autor(es)	Ano	Variáveis e Parâmetros	Objetivo	Aplicação Fuzzy
Yao e Lee	1999	Demanda Custo de manutenção Custo de pedido Ponto de pedido Lead time Custo da falta Estoque máximo Tamanho do pedido	Definir o Lote Econômico de Compra	Matemática
Samal e Pratihari	2014	Demanda Custo de manutenção Custo de pedido Custo de <i>backorder</i> Credibilidade	Definir o Lote Econômico de Compra	Matemática
Gen et al	1997	Taxa de produção Demanda Máxima nível de falta permitido Custo do item Ponto de pedido Tamanho do pedido Custo de pedido ou produção Custo de manutenção Custo da falta	Solução do modelo de revisão contínua	Matemática
Kao e Hsu	2002b	Ponto de pedido Tamanho do pedido Lead time Demanda Custo de pedido Custo de aquisição Custo de manutenção Custo da falta	Solução do modelo de revisão contínua	Matemática
Handfield et al	2009	Ponto de pedido Tamanho do pedido Demanda Custo de pedido Custo de manutenção Ciclo de estoque Custo de aquisição Multa Performance do fornecedor Lead time Atitude do gerente (pessimista ou otimista)	Solução do modelo de revisão contínua	Matemática
Tantatamme e Phruksaphanrat	2012	Demanda Disponibilidade para fornecimento Tamanho do pedido Ponto de pedido Custo de manutenção Custo de pedido Custo da falta Lead time Estoque de segurança	Solução do modelo de revisão contínua	Inferências
Wang et al	2012	Demanda Tamanho do pedido Ponto de pedido Custo de pedido Custo de manutenção Custo da falta Credibilidade Taxa de demanda não atendida	Solução do modelo de revisão contínua	Matemática

Figura 1: Artigos de gestão de estoque utilizando *fuzzy*.

Autor(es)	Ano	Variáveis e Parâmetros	Objetivo	Aplicação Fuzzy
Lin	2008	Demanda Custo de manutenção Fração da demanda não atendida durante <i>stockout</i> Custo da falta Custo de pedido Taxa de backorder Lead time Período de revisão	Solução do modelo de revisão periódica	Matemática
Sarkar e Mahapatra	2015	Demanda Demanda durante lead time Lead time Ponto de pedido Período de revisão Taxa de demanda não atendida Custo de pedido Custo de manutenção Custo da falta Margem unitária	Solução do modelo de revisão periódica	Matemática
Chen e Ho	2011	Demanda Descontos incrementais Custo de aquisição Custo de manutenção Tamanho do pedido	Determinação o tamanho do pedido no contexto <i>newsboy problem</i>	Matemática
Hu et al	2010	Demanda Preço para varejo Custo de produção Custo de manutenção Custo da falta Taxa de defeitos Preço de recompra Custo de inspeção Valor residual Tamanho do pedido Demanda máxima	Determinação do lucro do sistema no contexto <i>newsboy problem</i>	Matemática
Su et al	2011	Prazo de validade Margem de lucro Custo de descarte Custo da falta Demanda Tamanho do pedido Lucro esperado	Determinação o tamanho do pedido no contexto <i>newsboy problem</i>	Matemática
Chu et al	2008	Custo de aquisição Frequência de uso Lead time Críticidade do item Severidade da falta	Classificação ABC envolvendo multi critérios	Matemática
Katagiri e Ishii	2002	Demanda Preços Custos de manutenção Custo de falta Custo de obsolescência Lucro	Determinar tamanho de pedido de forma a maximizar lucro	Matemática

Figura 1: Artigos de gestão de estoque utilizando *fuzzy* (continuação).

2.2 ALOCAÇÃO DE ESTOQUE

A alocação de estoque refere-se à distribuição de produtos de um ponto central para outros pontos marginais, como por exemplo de um centro de distribuição para armazéns, ou de um armazém para varejos. Quando se decide a respeito de uma política de alocação é importante ter em mente alguns critérios balizadores. É importante saber se a demanda é dependente ou independente (produtos acabados possuem demanda independente enquanto que seus insumos, ou produtos inacabados, possuem demanda dependente), se a informação é local ou integrada e se a decisão é centralizada ou descentralizada (DE LEEUW et al, 1999), remetendo aos conceitos de empurrar e puxar.

O sistema empurrado e o sistema puxado referem-se à autonomia de decisão em relação à alocação, ou seja, em um sistema empurrado a decisão está centralizada a montante e no sistema puxado a decisão está descentralizada e parte dos elementos a jusante (FEDERGRUEN e ZIPKIN, 1984; LAGODIMOS, 1992). Estes sistemas estão aqui definidos por serem extensivamente citados nos trabalhos referidos neste capítulo.

Um exemplo de decisão centralizada é visto no trabalho de Eppen e Schrage (1981), em que se define a Regra de Alocação por Divisão Justa (*Fair Share Allocation Rule* em inglês ou FS), capaz de igualar a probabilidade de *stockout* para todos os varejos. Além das decisões centralizadas, características do sistema empurrado, os autores definiram ciclos de pedidos fixos e demanda independente e normalmente distribuída para estabelecer o tamanho do estoque base e o tamanho e frequência de colocação dos pedidos. O objetivo principal da FS é a minimização dos custos e como benefícios desta regra podemos destacar as economias de escala e de tempo.

Lagodimos (1992) desenvolveu um estudo em que comparou as políticas puxada e empurrada num contexto de demandas independentes. O autor difere de Eppen e Schrage (1981) não somente no fato de utilizar o sistema puxado em comparação ao empurrado, mas

também no critério de avaliação de desempenho do modelo. Ao invés de buscar a redução dos custos, Lagodimos (1992) teve como objetivo atender a três medidas clássicas de nível de serviço, a saber fração de período em que a demanda é satisfeita, média de *backorders* e fração da demanda atendida, para os quais obteve resultados satisfatórios tanto no sistema puxado quanto no sistema empurrado.

Em consonância ao trabalho de Lagodimos (1992), Jönsson e Silver (1987) também buscaram critérios referentes ao nível de serviço para avaliar sua política. O autor explicou que para o atendimento pleno da demanda, poderiam ser exploradas duas alternativas: a manutenção de um estoque de segurança no armazém após a alocação, para um segundo momento de distribuição para os varejos, ou a permissão do *transshipment* entre os varejos, para balanceamento dos estoques locais. Através de testes numéricos observou-se que a manutenção de um estoque de segurança e utilização de um segundo momento de distribuição capturou os benefícios do *transshipment* sem incorrer nos custos relacionados a tal atividade. Em contrapartida, o dimensionamento deste estoque de segurança requer interações, o que torna tal simulação demasiadamente complexa.

Jackson (1988) utilizou um sistema empurrado com a manutenção de um estoque de segurança no armazém, conforme sugere Jönsson e Silver (1987). Desta forma, conciliou os benefícios de baixos custos oferecidos por uma decisão centralizada com o aumento no nível de serviço oferecido pela redistribuição e balanceamento dos estoques nos varejos.

A alocação de estoque permanece como tema de pesquisa em trabalhos recentes. Howard e Marklund (2011) comparam um modelo de alocação míope – conceito referente à análise que foca no período atual sem se preocupar com os períodos subsequentes - em que se consolida os pedidos e a carga antes do envio *versus* o tradicional modelo *first-come-first-serve*, para verificação da melhor opção em termos de custo. Hariga e Al-Ahmari (2013) buscaram a maximização dos lucros em um sistema composto por um armazém e um varejo com demanda

dependente em que se buscou a alocação de estoque para o varejo em um contexto de estoque de consignação e de VMI (*Vendor-Managed Inventory*), ou seja, o armazém é quem decidia parâmetros como tamanho e ponto de pedido. Agrawal e Smith (2013) conduziram simulações de um sistema composto por uma cadeia de varejos que experimentam demandas diferentes, e se busca a maximização do lucro integrado através da definição das quantidades distribuídas.

Observa-se nos trabalhos de Howard e Maklund (2011) e Agrawal e Smith (2013) a existência de uma demanda independente e a utilização de modelos de otimização estocásticos com variáveis probabilísticas.

Por conta de mudanças no cenário competitivo advindas da busca constante por inovações em produtos e serviços, e pelas mudanças nos próprios modelos de negócio, a precisão necessária na definição de certos parâmetros para a criação de modelos probabilísticos fica dificultada (GIANNOCCARO et al, 2003). Dada as complexidades geradas por este cenário, buscou-se na computação *soft* uma maneira de absorver as imprecisões e incertezas e entregar políticas de alocação satisfatórias para os tomadores de decisão. Dentre os tipos mais utilizados, destacam-se os algoritmos genéticos, redes neurais e a lógica *fuzzy* (KO et al, 2010).

Alguns autores desenvolvem suas modelagens utilizando mais de uma lógica, por exemplo, lógica *fuzzy* e algoritmos genéticos, ou utilizam conjuntamente modelos de computação *soft* e *hard*, que fogem do escopo desta revisão. Para referência, destacamos Lau et al (2004), Wang et al (2004), Sheu (2006) e Ben Said et al (2010).

Apesar da potencialidade expressa pela lógica *fuzzy* e comprovada pelas inúmeras aplicações que tal ferramenta possui no contexto de gestão de estoques, pouco se tem desenvolvido em relação à alocação de estoques em conjunto com a lógica *fuzzy*. O único trabalho que o faz foi realizado por Xie e Petrovic (2006), que trataram da alocação de produtos em um sistema de distribuição utilizando exclusivamente a lógica *fuzzy* na modelagem.

2.3 ALOCAÇÃO DE ESTOQUE *FUZZY*

Xie e Petrovic (2006) utilizaram a alocação de itens feita em uma cadeia de suprimentos de dois escalões, ou seja, com um armazém e uma série de varejos, através da utilização de lógica *fuzzy* para representar a incerteza existente nas variáveis demanda e custo total, este representado somente pelo custo de manutenção de estoque. Em uma situação em que não há estoque suficiente no armazém para atender a todas as ordens enviadas pelos varejos, foi criado um índice de prioridade, que tenta atender a um nível de serviço incorrendo em um custo aceitável ou atender a um custo pré-estabelecido oferecendo um nível de serviço mínimo. A estratégia de alocação criada pelos autores que utiliza lógica *fuzzy* na modelagem foi chamada de DMS-SA, ou *Decision-Making System for Stock Allocation*, e mostrou-se mais adequada do que as técnicas de *Even Allocation* (alocação por igual), que consiste em dividir o estoque por igual entre todos os varejos, e a *Fair Share allocation* (ou alocação justa).

Esta estratégia DMS-SA utiliza a regra de inferência de Mamdani, referente ao trabalho do pesquisador Ebrahim Mamdani que criou um modelo proposto à aplicação de um algoritmo em lógica *fuzzy* para um controlador de um motor a vapor. Este modelo foi capaz de transformar um conjunto de heurísticas expressas verbalmente em um algoritmo controlador (MAMDANI e ASSILIAN, 1975). Tal inferência é tão relevante que inclusive se tornou uma inferência *default* para programas de modelagem em lógica *fuzzy*.

Tendo em vista o artigo de Xie e Petrovic (2006) em que se utilizou unicamente o parâmetro custo de manutenção para composição do *input* custo do modelo *fuzzy*, neste trabalho objetiva-se introduzir novos componentes de custos na formação do *input*, a saber o custo de transporte, de pedido e da falta.

O custo de manutenção, já presente no modelo, está relacionado com o custo de se manter um item em estoque, e é tratado como um custo por item por unidade de tempo, ou seja, um custo variável. O custo de pedido está relacionado com o custo de reposição dos itens de

estoque, expresso por entrega. Neste trabalho é representado por um custo fixo. O custo da falta está relacionado com os custos monetários de não efetivar uma venda, ou seja, a perda do lucro relacionado à venda perdida, além dos custos intangíveis relacionados à possível perda de cliente e de vendas futuras. É expresso por item por unidade de tempo, ou seja, um custo variável (TANTATEMEE e PHRUKSAPHANRAT, 2012). Por fim, o custo de transporte, relacionado ao custo de se transportar os produtos do armazém até os varejos. Será expresso como um custo fixo, ou seja, por entrega.

Após a elaboração deste novo modelo, serão criados cenários para simulação de políticas de alocação e verificados os parâmetros comparativos nível de serviço e custo total de cada varejo e de todo o sistema de distribuição.

3 METODOLOGIA

A metodologia apresenta na seção 3.1 as definições básicas que são utilizadas ao longo do capítulo. Na seção 3.2 é discutido a estrutura do modelo *fuzzy* e no 3.3 os cálculos utilizando o *output* do modelo que fornecem as quantidades a serem alocadas, o nível de serviço e os custos envolvidos.

3.1 DEFINIÇÕES BÁSICAS

A seguinte notação será utilizada:

n : Índice que indica a qual elemento estamos nos referindo. 0 (zero) representa o armazém;

N : Número total de varejos na cadeia de distribuição;

E^0 : Estoque no armazém;

o^n : Tamanho do pedido feito pelo varejo n ;

D^n : Demanda *defuzzyficada* no varejo n ;

cm^n : Custo de manutenção por item por unidade de tempo do varejo n ;

ct^n : Custo de transporte por unidade de tempo do varejo n ;

cp^n : Custo de pedido por unidade de tempo do varejo n ;

cf^n : Custo da falta por item por unidade de tempo do varejo n ;

q^n : Quantidade entregue para o varejo n ;

cfi^n : Custo fixo por unidade de tempo do varejo n . Consiste na soma dos custos de transporte e pedido;

μ : Valor de pertinência;

$PI^{n'}$: Índice de prioridade *fuzzyficado*;

PI^n : Índice de prioridade;

ns^n : nível de serviço do varejo n ;

cT^n : Custo total do varejo n ;

n_s : nível de serviço do sistema de distribuição;

cT : Custo total do sistema de distribuição;

O sistema é composto por um armazém e uma variedade de pontos de venda, tratados como varejos, espaçados entre si. O índice n varia de 0 a N , sendo que 0 representa o armazém e N representa a quantidade de varejos do sistema de distribuição.

A cada período, o armazém recebe uma quantidade de estoque E^0 e deverá distribuir essa quantidade de forma a atender os pedidos de cada varejo. Os varejos fazem pedidos de o^n itens baseados nas demandas D^n percebidas em cada varejo. Tal sistema de distribuição está ilustrado na figura 2.

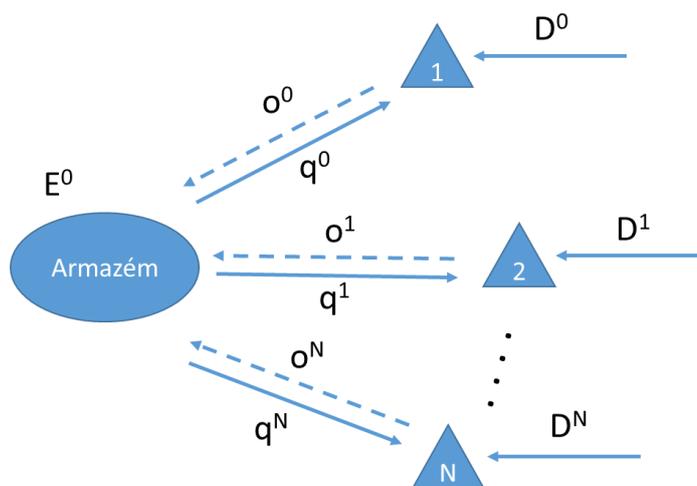


Figura 2: Esquema do sistema de distribuição contendo armazém e N varejos.

No caso de $o^1 + o^2 + \dots + o^N < E^0$, as quantidades alocadas não precisariam ser discutidas e todos os varejos receberiam a quantidade de itens ordenada. No entanto, no caso de $o^1 + o^2 + \dots + o^N > E^0$, é necessário utilizar algum método para auxiliar na decisão das quantidades que deverão ser alocadas em cada varejo, levando em consideração as demandas e os custos envolvidos na alocação. É neste caso em que o presente modelo é aplicado.

3.2 ESTRUTURA DO MODELO DMS-SA REV.

A estrutura do modelo DMS-SA Rev. é composta por quatro *inputs*, uma interface de *fuzzyficação*, uma regra base que relaciona os *inputs fuzzyficados* e gera um *output fuzzyficado* e uma interface de *defuzzyficação*, para obtenção do *output defuzzyficado*. Este processo está resumido na figura 3 e será detalhado a seguir.

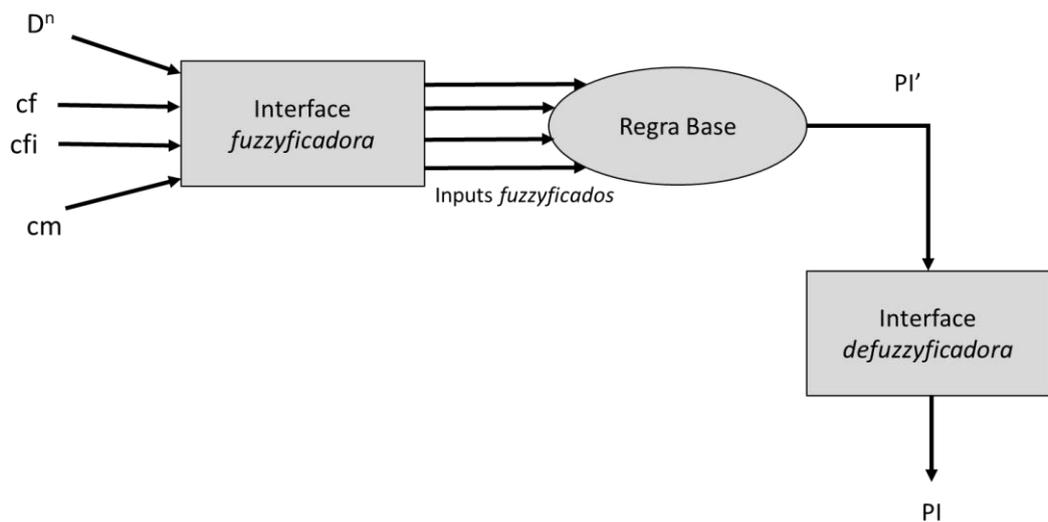


Figura 3: Estrutura do DMS-SA Rev.

Existem cinco parâmetros de entrada que são usados para formar os *inputs* do modelo: a demanda D^n percebida por cada varejo, o custo de manutenção cm^n , o custo de transporte ct^n , o custo de pedido cp^n e o custo da falta cf^n .

A figura 4 resume os critérios que relacionam estes parâmetros e a quantidade q alocada em cada varejo.

PARÂMETRO	CRITÉRIO
D	IF D alto THEN q alto
cm	IF cm alto THEN q baixo
ct	IF ct alto THEN q alto
cp	IF cp alto THEN q alto
cf	IF cf alto THEN q alto

Figura 4: Critérios que relacionam os inputs ao output.

Os custos de transporte e pedido possuem critérios similares e ambos são fixos por unidade de tempo e, portanto, serão tratados como um único *input*. Os outros parâmetros serão tratados como *inputs* separadamente. Por conseguinte, observamos quatro *inputs* para o modelo:

- Demanda (D^n): demanda percebida por cada varejo. O tamanho do pedido será idêntico a esta demanda, ou seja, para todos os casos deste trabalho, $o^n = D^n$. Por conta disto temos a demanda, e não o tamanho de pedido, como *input* para nosso sistema.
- Custo de manutenção (cm^n).
- Custo fixo (cfi^n): Soma dos custos de transporte e pedido.
- Custo da falta (cf^n).

A *fuzzyficação* dos *inputs* ocorre de acordo com as funções de pertinência (*membership functions*) que são estabelecidas anteriormente em um painel de especialistas. Neste painel, decide-se qual será o formato da função de pertinência (triangular, trapezoidal, gaussiana, etc), qual o domínio da função e quantas funções serão suficientes para descrever o parâmetro de entrada.

Para que o painel de especialistas ocorra, é necessária a presença de alguém com profundo conhecimento do processo, para que ele estabeleça os valores de referência que serão utilizados para cada função de pertinência. Ele é o responsável por tornar o modelo uma representação fiel da realidade do processo. Esta fase é de fundamental importância para o sucesso da modelagem.

O *input* demanda foi definido com três funções de pertinência representadas pelos valores linguísticos “baixo”, “médio” e “alto” (“DLow”, “DMed” e “DHigh” respectivamente), todas elas de tipo trapezoidal. Similarmente, os *inputs* custo de manutenção, custos fixos e custo da falta também foram definidos com três funções de pertinência do tipo trapezoidal. Já o índice

de prioridade foi definido também com 3 funções de pertinência, porém do tipo triangular. Os *inputs*, o *output* e suas respectivas funções de pertinência estão representados na figura 5.

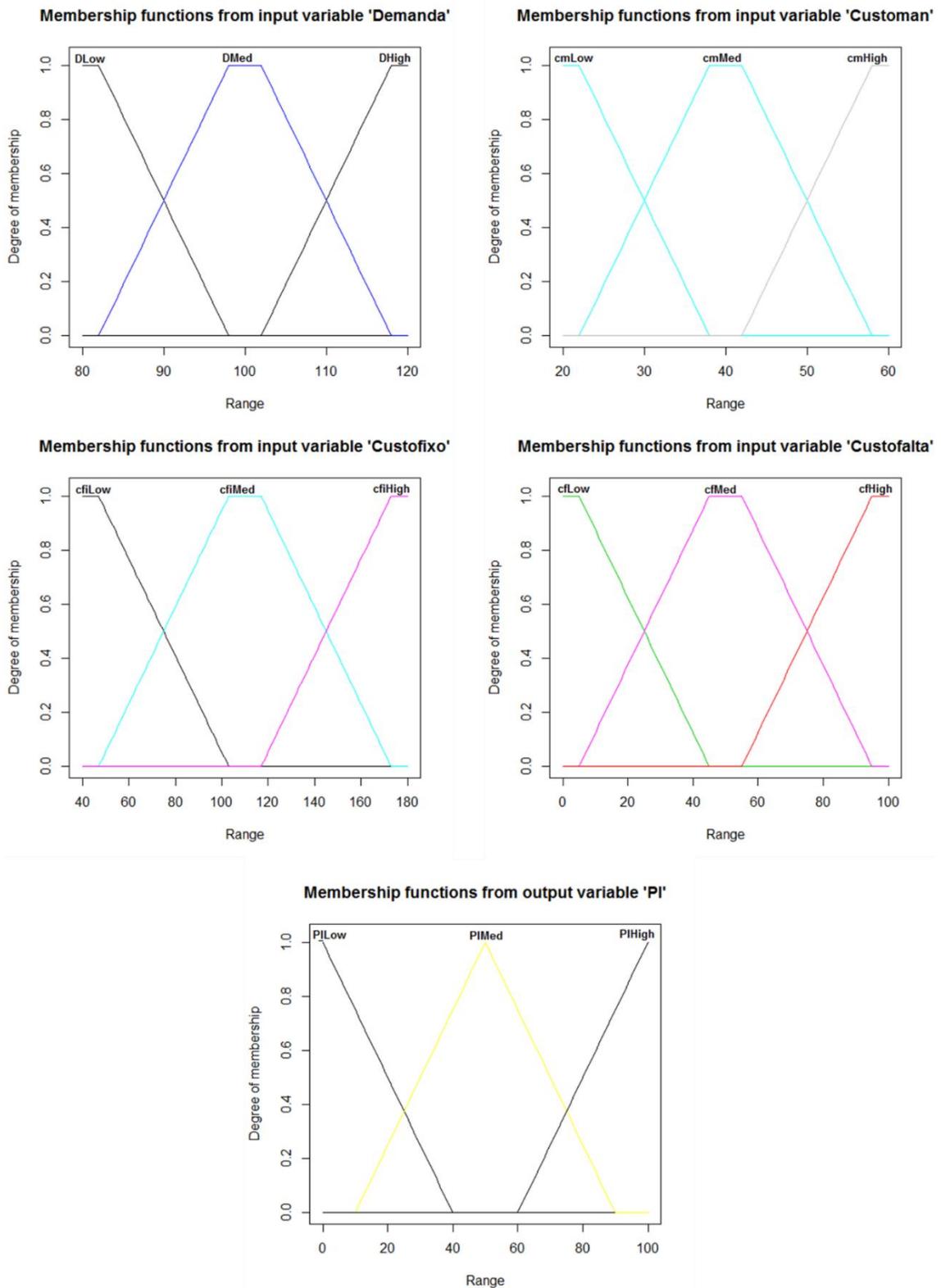


Figura 5: Inputs demanda, custo de manutenção, custo fixo e custo da falta e output índice de prioridade, cada um com suas funções de pertinência.

Após *fuzzyficados*, cada *input* fica representado por um conjunto de valores de pertinência de acordo com as funções estabelecidas previamente. No caso do *input* demanda, em que existem três valores linguísticos, teremos seu valor *fuzzyficado* representado pelo conjunto *fuzzy* (μ^b , μ^m , μ^a), em que μ^b é o valor de pertinência da função baixo, μ^m da função médio e μ^a da função alto.

Para relacionar os *inputs* são utilizadas as regras de base SE-ENTÃO, que determinam como os *inputs* se relacionam e determinam o *output*. Estas regras de base são regidas pelo mecanismo de inferência de Mandani (1974), que utiliza três operadores básicos:

- União (conectivo OR)

$$A + B = \sum_i [\mu_a(u_i) \vee \mu_b(u_i)] , \text{ em que } \vee \text{ equivale a max}$$

- Interseção (conectivo AND)

$$A . B = \sum_i [\mu_a(u_i) \wedge \mu_b(u_i)] , \text{ em que } \wedge \text{ equivale a min}$$

- Complemento (conectivo NOT)

$$\sim A = \sum_i [1 - \mu_a(u_i)]$$

Apoiado nestes três operadores, é utilizado o produto cartesiano das variáveis para se obter a relação entre elas. O aprofundamento da matemática *fuzzy* envolvida na inferência está fora do escopo deste trabalho.

Cada um dos 4 *inputs* possui 3 funções de pertinência, o que geram 81 regras base. 6 dessas 81 estão apresentadas na figura 6.

Regra	Se "Demanda" é	e "Custo de manutenção" é	e "Custo fixo" é	e "Custo da falta" é	Então "IP" é
1	Baixa	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
2	Média	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
				
37	Baixa	Baixo	Médio	Médio	Médio
38	Média	Baixo	Médio	Médio	Alto
				
80	Média	Alto	Alto	Alto	Alto
81	Alta	Alto	Alto	Alto	Alto

Figura 6: Base de regras adotadas.

É possível modificar os pesos dados a cada um dos *inputs*, de forma a aumentar sua influência na composição do *output*. Após a utilização das regras SE-ENTÃO, é obtido o índice de prioridade PI^n *fuzzyficado*.

O Índice de Prioridade PI^n é *defuzzyficado* pelo método centroide, que consiste em obter o centroide da figura demarcada pelas funções de transferência do *output* e os índices obtidos a partir da regra base. Este método é amplamente utilizado nas inferências *fuzzy* e tornou-se *default* dos principais softwares de simulação desta lógica.

3.3 QUANTIDADES ALOCADAS E PARÂMETROS COMPARATIVOS

Após a obtenção do Índice de Prioridade, é aplicada a equação 1 para definir as quantidades de itens a serem entregues em cada varejo.

$$q^n = \frac{E^0 PI^n}{\sum_{n=1}^N PI^n} \quad (1)$$

Com as quantidades alocadas em cada varejo é possível calcular o nível de serviço e o custo total de saída, conforme equações 2 e 3.

$$ns^n = \frac{q^n}{D^n} \quad (2)$$

$$cT^n = cm^n * q^n + ct^n + cp^n + cf^n * (D^n - q^n) \quad (3)$$

Por fim, são calculados o nível de serviço e o custo total de saída para todo o sistema de distribuição, conforme equações 4 e 5 respectivamente.

$$n_S = \frac{\sum_i^N n_S^n}{N} \quad (4)$$

$$c_T = \sum_i^N c_T^n \quad (5)$$

4 CENÁRIOS E SIMULAÇÃO

Arunraj et al (2013) utilizaram uma ferramenta de simulação desenvolvida por Kentel e Aral (2005) que utiliza lógica *fuzzy* na definição dos valores que serão incorporados às variáveis. Para isso, eles modelaram as médias e os desvios padrão de cada *input* como uma variável *fuzzy* triangular. Na sequência, eles criam *alfacuts* para definir intervalos de média e desvio padrão correspondentes a cada nível de pertencimento. Ou seja, tal método, chamado de Simulação Monte Carlo *Fuzzy* em duas Dimensões (SMCF2D) consegue criar diferentes cenários para diferentes níveis de pertencimentos em que existem maiores ou menores incertezas referentes aos valores das médias e dos desvios padrão dos *inputs*.

Apesar da relevância do SMCF2D para simulações *fuzzy*, no presente estudo se utilizou tão somente a função *sample* do R para escolha aleatória dos dados dentro do intervalo definido para cada *input*. Isto foi feito devida a ausência de dados históricos que poderiam guiar a definição da estrutura das variáveis *fuzzy* média e desvio padrão para cada um dos *inputs*.

De maneira resumida, o algoritmo do Sistema de Inferência *Fuzzy* programado em linguagem R atende à lógica descrita na figura 7.

Para verificação do modelo, foram criados quatro cenários, cada um representando um sistema de distribuição composto por diferentes quantidades de varejos (2, 3, 5 e 10), cada um com seu estoque inicial correspondente (120, 180, 300 e 600 itens respectivamente). Para cada cenário, foram realizadas 200 simulações, sendo que em cada simulação se variou a demanda e os custos individuais de cada varejo. Essas simulações foram feitas para quatro modelos: o modelo proposto - DMS-SA Rev. - e outros três modelos comparativos – DMS-SA, *Even Allocation* e *Fair Share Allocation* – que serão descritos detalhadamente a seguir. Não existe estoque em excesso que possa ser aproveitado em simulações subsequentes, ou seja, cada simulação se trata de um problema de pedido único. Cabe ressaltar que problemas de pedido único focam somente no período atual e não há aproveitamento do estoque sobressalente,

exemplificado pelo típico problema do jornaleiro. Já em problemas de múltiplos períodos existe uma continuidade no processo decisório ao longo dos períodos subsequentes, o que pode alterar as características da operação e os objetivos norteadores das decisões em alocação de estoque.

Etapa	Descrição
1	Cria-se o Sistema de Inferência <i>Fuzzy</i>
2	Cria-se as variáveis que irão representar os <i>inputs</i>
3	São definidas as funções de pertinência e atribuídas às respectivas variáveis
4	São adicionadas as regras que relacionam os <i>inputs</i> e geram o <i>output</i>
5	É definida a quantidade de varejos a ser testada e o estoque inicial
6	Para i variando de 1 até 200, faça
7	Escolhe-se aleatoriamente os valores dos <i>inputs</i> _{i}
8	Os valores são inseridos no Sistema de Inferência <i>Fuzzy</i>
9	Calcula-se o PI_i
10	Calcula-se as quantidades alocadas q_i para cada varejo
11	Calcula-se o custo total cT_i e nível de serviço ns_i para o sistema de distribuição
12	Calcula-se as quantidades alocadas para os outros modelos
13	Calcula-se o custo total e nível de serviço para os outros modelos
14	i recebe $i+1$
15	Retorna etapa 7
16	Fim

Figura 7: Pseudo-código para o Sistema de Inferência Fuzzy modelado no R.

Esta análise tem por objetivo:

- (a) avaliar o desempenho em termos de nível de serviço do sistema de distribuição modelado através do DMS-SA Rev. e compará-lo aos outros modelos; e
- (b) avaliar o desempenho em termos de custo total do sistema de distribuição modelado através do DMS-SA Rev. e compará-lo aos outros modelos.

A simulação foi feita no programa R, que é uma linguagem de computação e um software gratuito desenvolvido nos laboratórios Bell, da AT&T. O R fornece uma extensa gama de ferramentas estatísticas e técnicas gráficas, além dos pacotes que estendem seu uso para outros contextos, como é o caso do pacote *FuzzyToolkitUoN* de ferramentas de lógica *fuzzy*, utilizado na simulação deste trabalho.

Os dados para compor as características de demanda e custos de cada varejo utilizados na simulação foram extraídos de Wanke e Saliby (2009) e Wanke (2009, 2012). Estes dados estão apresentados na tabela 1.

	Demanda	Custo de manutenção	Custo de transporte	Custo de pedido	Custo da falta
Mínimo	80	0,2	20	20	0,1
Máximo	120	0,6	30	140	10

Tabela 1: Valores propostos para a simulação.

Para comparação dos resultados do DMS-SA Rev., são utilizados três outros modelos de alocação de estoque, mostradas a seguir.

- a) *Decision-Making System for Stock Allocation (DMS-SA)*: Este modelo proposto por Xie e Petrovic (2006) realiza a alocação de estoque proporcionalmente a um índice de prioridade modelado através de lógica *fuzzy*, conforme descrito no capítulo 3, com a ressalva de que ao invés de vários termos de custo, utiliza-se somente o custo de manutenção e a demanda como *inputs*.
- b) *Even Allocation*: A política de alocação por igual se propõe a distribuir o estoque existente no armazém por igual entre todos os varejos, conforme equação 6.

$$q^n = \frac{E^0}{N} \quad (6)$$

- c) *Fair Share Allocation*: A política de alocação justa se propõe a distribuir a quantidade em estoque de maneira proporcional à demanda de cada varejo, equalizando a probabilidade de *stockout*. A divisão do estoque é feita conforme equação 7.

$$q^n = \frac{E^0 D^n}{\sum_{n=1}^N D^n} \quad (7)$$

Cabe observar que é necessário introduzir nos três modelos de comparação descritos o custo de transporte, custo de pedido e custo da falta na composição do custo total do varejo e do sistema, para que a comparação dos custos totais seja válida.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados das 200 simulações em cada um dos quatro cenários propostos para os modelos DMS-SA Rev., DMS-SA, *Even Allocation* e *Fair Share Allocation* estão apresentados a seguir. A figura 8 apresenta os resultados para o critério nível de serviço enquanto que a figura 9 apresenta para custo total, ambos representados por gráficos *boxplot*.

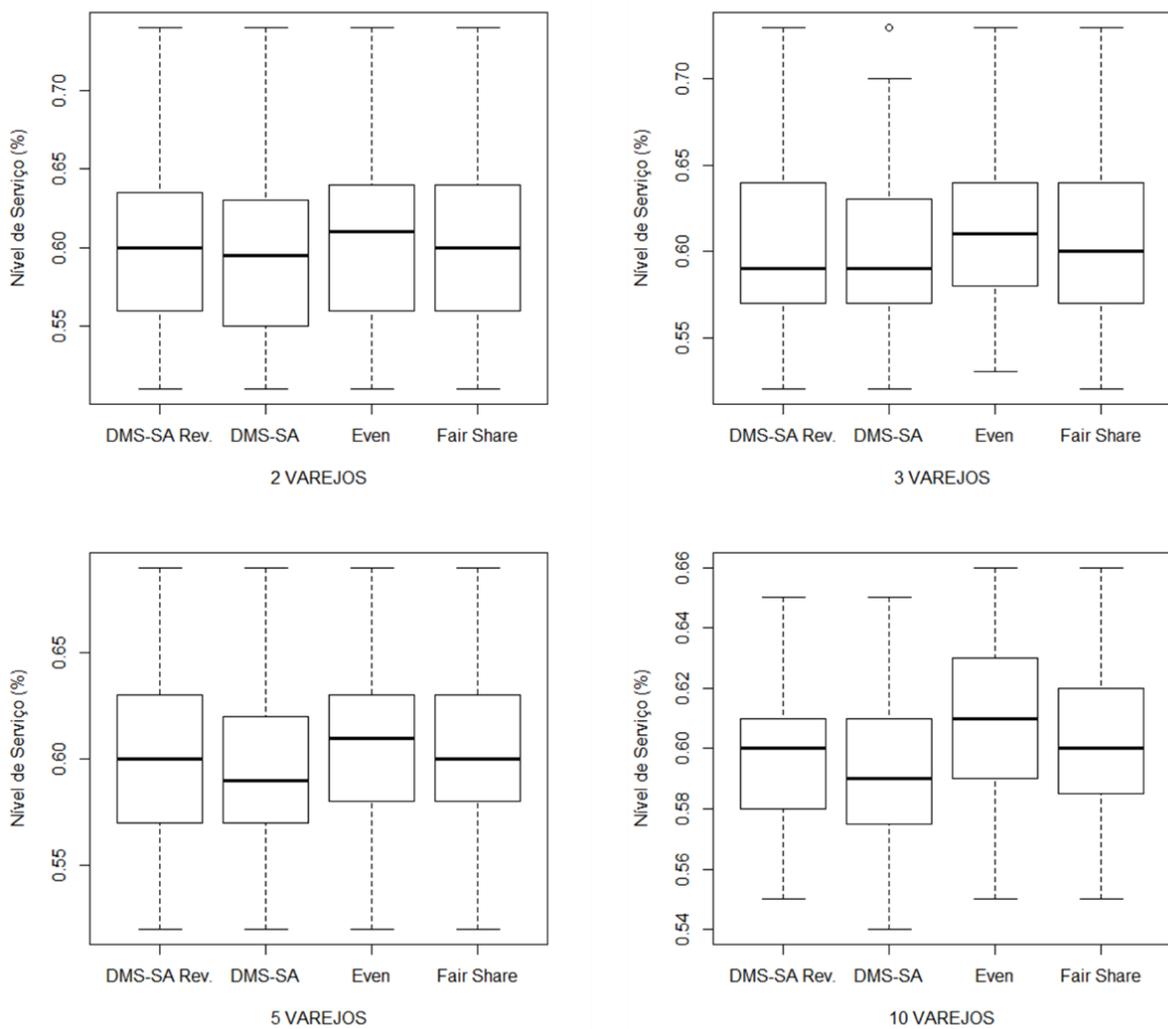


Figura 8: Nível de serviço do sistema de distribuição para os quatro cenários simulados.

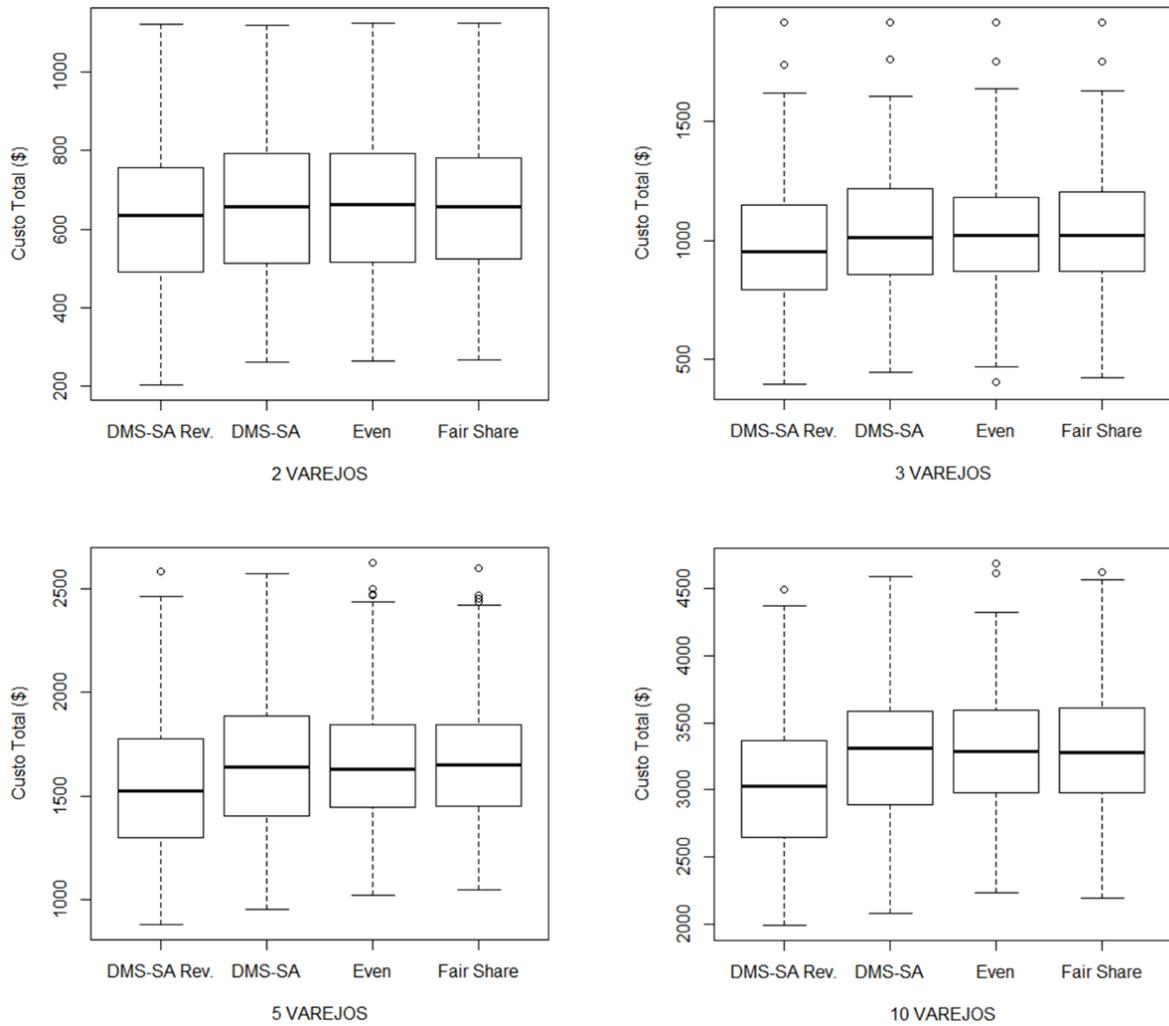


Figura 9: Custo total do sistema de distribuição para os quatro cenários simulados.

Foi realizado um teste não-paramétrico para explorar as diferenças nos resultados entre o modelo DMS-SA Rev. e os outros três modelos em relação a nível de serviço e a custo total. Na tabela 2 estão apresentados os resultados do teste de Kruskal-Wallis, sendo que as diferenças significativas ($p < 0,05$) estão em negrito.

	NÍVEL DE SERVIÇO						CUSTO TOTAL					
	DMS-SA Rev.						DMS-SA Rev.					
	DMS-SA		Even		Fair-Share		DMS-SA		Even		Fair-Share	
	qui-quad	P-valor	qui-quad	P-valor	qui-quad	P-valor	qui-quad	P-valor	qui-quad	P-valor	qui-quad	P-valor
2 Varejos	0,5001	0,479	3,196	0,074	0,436	0,509	2,043	0,153	2,073	0,15	2,141	0,143
3 Varejos	1,376	0,241	5,296	0,021	0,559	0,455	4,855	0,028	9,115	0,003	8,954	0,003
5 Varejos	3,772	0,052	6,433	0,011	0,281	0,596	10,033	0,002	11,741	0,001	12,913	0,000
10 Varejos	3,133	0,077	17,668	0,000	1,663	0,197	22,615	0,000	26,109	0,000	26,233	0,000

Tabela 2: Teste de Kruskal-Wallis entre resultados do DMS-SA Rev. comparado aos outros modelos em termos de nível de serviço e custo total.

Observamos pelo teste de Kruskal-Wallis que o modelo proposto DMS-SA Rev. apresentou ganhos estatisticamente representativos comparado aos outros três modelos em termos de custo total, a partir do cenário com 3 varejos. No entanto, em termos de nível de serviço não houve diferenças comparadas aos modelos DMS-SA e *Fair Share* e houve perdas estatisticamente significativas em relação ao modelo *Even Allocation*.

É possível observar também que, conforme se aumenta a quantidade de varejos, existe um crescimento na diferença entre os valores de custo total do modelo proposto comparado aos outros três modelos, representado pela diminuição do P-valor. Isto pode estar relacionado com o fato de que, em sistemas com poucos varejos (amostra pequena), existe uma instabilidade nos resultados proveniente das amostras aleatórias, que, ao passo em que aumentamos a quantidade de varejos no sistema (amostra maior), a aleatoriedade dos dados é absorvida pelo tamanho amostral, resultando numa maior estabilidade dos resultados. Para verificar esta tendência, propõem-se a verificação dos ganhos percentuais em custo total variando-se a quantidade de varejos.

Para cálculo dos ganhos percentuais em custo total (G) do modelo proposto em relação aos outros modelos foi utilizada a seguinte fórmula:

$$G = 1 - (cT_{DMS-SA Rev.}/cT) \quad (8)$$

Em que $cT_{DMS-SA Rev.}$ representa o custo total do modelo proposto e cT o custo total do modelo comparativo. Foram realizadas simulações de 40 cenários, variando de 1 varejo até 40 varejos, para observar a tendência de ganhos em custo total quando se aumenta a quantidade de varejos nos sistemas de distribuição. Observamos os gráficos de dispersão dos ganhos percentuais em custo total na figura 10.

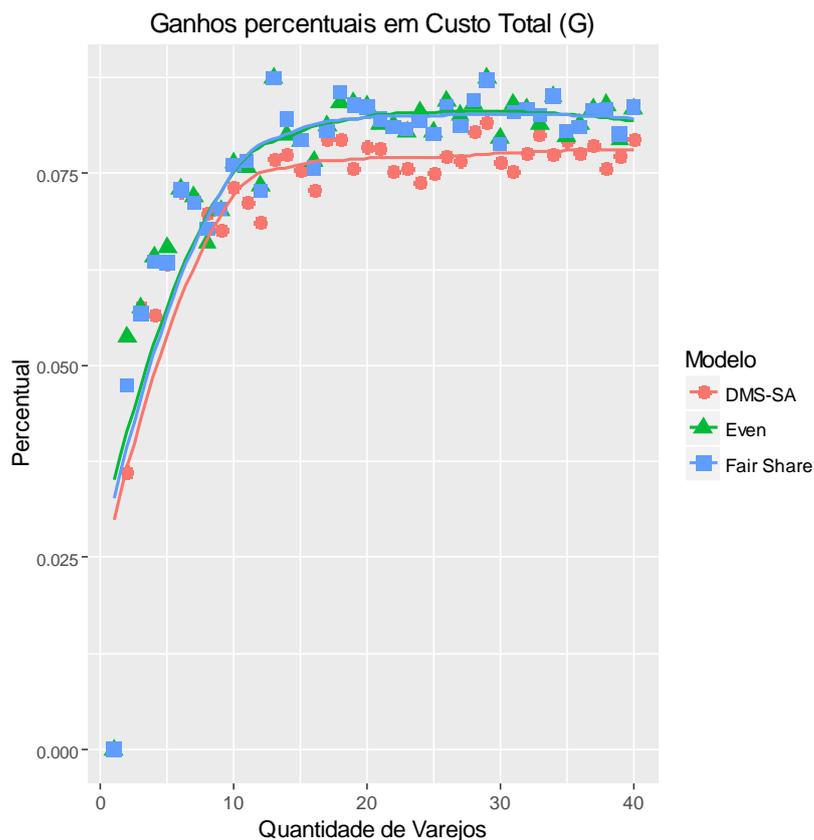


Figura 10: Ganhos percentuais em custo total do modelo proposto comparado aos outros modelos variando-se a quantidade de varejos.

Nota-se que, de fato, existe um crescimento do ganho percentual em custos quando aumenta-se a quantidade de varejos no sistema, com uma tendência de estabilização em cerca de 8%, próximo do cenário com 15 varejos. Também é possível perceber que os ganhos são ligeiramente maiores quando comparados aos modelos *Even* e *Fair Share*, sugerindo que o modelo *fuzzy* DMS-SA tem desempenho um pouco melhor em custos do que esses dois modelos não *fuzzy*.

A figura 11 apresenta as curvas de densidade de probabilidade obtidas através da simulação do cenário com 10 varejos em termos de custo total. A curva contínua representa o modelo DMS-SA Rev. enquanto que as curvas pontilhadas representam os modelos comparativos.

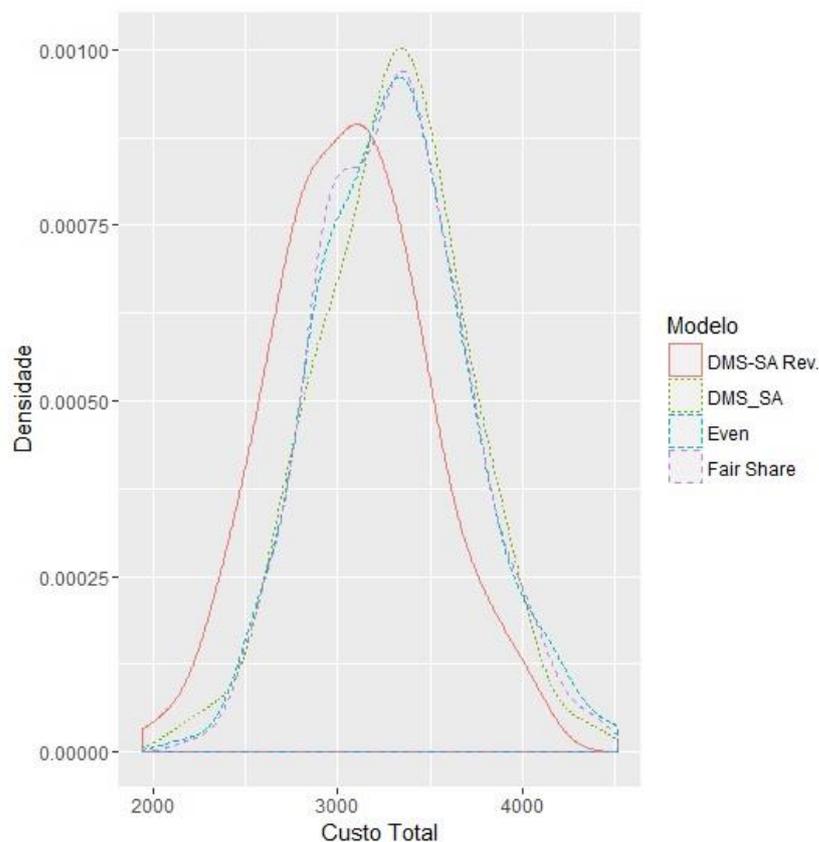


Figura 11: Curvas de densidade de probabilidade comparando o modelo DMS-SA Rev. com os outros modelos em termos de custo total.

Notamos que o custo total do modelo proposto é menor do que o custo dos modelos comparativos, corroborando resultados mostrados anteriormente.

Para compreender melhor a relação entre os custos totais obtidos e as variáveis modelo e cenário, foi realizada uma regressão linear múltipla tendo como variável dependente o custo total e variáveis independentes o modelo e o cenário (variando a quantidade de varejos). Os resultados apresentados na tabela 3 tomam como referência (variável *dummy*) o modelo DMS-SA Rev. e o cenário com 2 varejos.

Variáveis	Estimativa	Desv pad	t-valor	P-valor
(Intercepto)	557,97	14,58	38,279	0,000
Mod DMS-SA	110,35	15,58	7,082	0,000
Mod Even	115,75	15,58	7,428	0,000
Mod Fair Share	115,98	15,58	7,443	0,000
Cen 3 Varejos	352,00	15,58	22,589	0,000
Cen 5 Varejos	963,12	15,58	61,806	0,000
Cen 10 Varejos	2540,96	15,58	163,059	0,000

F(N=3193)	P-valor	R ²	R ² ajust	Desv pad
5217	0,000	0,9074	0,9073	311,70

Tabela 3: Resultados da regressão linear múltipla com variável dependente custo total e variáveis independentes cenário e modelo.

Percebe-se que para todos os modelos e todos os cenários há diferença estatística significativa ($Pr < 0,05$) referente à variável *dummy*. Além disso, percebemos que o R quadrado ajustado é de mais de 90%, o que comprova que existe forte relação entre a variável dependente custo total e as variáveis independentes modelo e cenário.

6 CONCLUSÃO

Em uma situação de insuficiência do estoque para atendimento completo dos pedidos dos varejos, são necessárias ferramentas para auxiliar na decisão referente às quantidades alocadas em cada cliente, levando em consideração o nível de serviço e o custo total incorrido para o sistema de distribuição. Neste contexto, o modelo *Decision-Making System for Stock Allocation revisado* apresentou bons resultados em relação aos custos totais incorridos na alocação dos itens nos sistemas de distribuição simulados. Observamos que se alcançou, em alguns casos apresentados, uma redução próxima a 8% nos custos totais envolvidos na atividade.

O nível de serviço obtido pelo modelo proposto neste trabalho não demonstrou diferenças significativas comparado aos modelos DMS-SA e *Fair Share Allocation* e apresentou perdas significativas comparado ao modelo *Even Allocation*. Isto demonstra que a proposta está mais voltada para custos do que para nível de serviço.

Observamos que os custos totais obtidos estão fortemente ligados ao cenário e ao modelo escolhido e, portanto, os resultados apresentados sofreram influência da estrutura do sistema de distribuição e do modelo escolhido para a simulação da alocação de estoques. Nesse sentido, observa-se que a escolha criteriosa do modelo de alocação é fundamental para a obtenção de resultados eficientes em custos.

Os resultados obtidos com o modelo *fuzzy* DMS-SA Rev. foram melhores em custo comparado ao modelo-base DMS-SA, sem redução significativa no nível de serviço prestado. Isto sinaliza que a utilização dos outros termos formadores do custo total do sistema de distribuição, fator que difere os dois modelos citados, é fundamental para se tomar a melhor decisão de alocação quando se utiliza sistemas de inferência *fuzzy*.

Em situações em que não há dados históricos para utilização de modelos probabilísticos ou quando existem incertezas ou subjetividades que enfraquecem os resultados obtidos pelos

mesmos, o modelo DMS-SA Rev. surge como alternativa eficiente em custos e suficiente em termos de nível de serviço. Dito isso, gerentes de áreas relacionadas à gestão de estoques podem utilizar modelos *fuzzy* como auxílio para tomada de decisão referente à alocação de seus estoques em sistemas de distribuição similares àqueles testados no presente trabalho. É importante ressaltar a necessidade de um especialista do processo para a modelagem *fuzzy*, pois é fundamental que a estruturação do modelo respeite as características do sistema. Outro ponto importante referente à aplicação do modelo é o fato dele ter apresentado maior estabilidade nos resultados em sistemas de distribuição que possuem quinze ou mais varejos, sendo esses cenários os mais indicados para sua aplicação.

A principal limitação da pesquisa foi a ausência de dados históricos que permitiriam comparar o modelo proposto com outros mais sofisticados. Dito isso, se sugere como pesquisas futuras a utilização de dados reais para as simulações e a comparação do modelo proposto com modelos probabilísticos, que estariam mais próximos à realidade das empresas atuais. Além disso, pode-se realizar simulações utilizando o SMCF2D, a fim de testar como as incertezas referentes aos valores de média e desvios padrão dos *inputs* alteram os resultados do modelo.

Para pesquisas futuras ressalta-se a importância da etapa de painel de especialistas, que é fundamental para que o modelo apresente bons resultados. É importante utilizar um especialista no processo para realização dos ajustes nas características das variáveis que compõem a estrutura do modelo *fuzzy*.

Sugere-se também como verificação em próximos estudos a alteração da estrutura no modelo *fuzzy*, como o formato das funções de pertinência e o método de *defuzzificação*, a fim de avaliar como tais características alteram as relações entre os *inputs* e a formação do *output*.

Como foi observado nos resultados obtidos, o modelo DMS-SA Rev. está direcionado fortemente para custo. Para testes futuros, pode-se tentar resolver o *trade-off* com direcionamento mais voltado para nível de serviço, dado que existem custos atrelados ao não

atendimento da demanda, como a perda de clientes para vendas futuras, que não foram modelados e podem aumentar a importância deste indicador.

Como foi observado no presente trabalho, considerar os custos de pedido, de transporte e da falta resultaram em uma significativa alteração no *output* do modelo *fuzzy*, que culminou em uma redução nos custos totais incorridos no sistema de distribuição. Neste mesmo sentido, propõem-se no futuro adicionar novas variáveis ao modelo, como por exemplo a perecibilidade, que afetam diretamente nos custos envolvidos na gestão de estoque, a fim de refinar o modelo e aproximá-lo ainda mais à realidade empresarial.

Por fim, cabe a sugestão de testar o presente modelo em situações de múltiplos períodos, em que há a interação dos estoques alocados com os sobressalentes advindos de períodos anteriores, a fim de verificar a eficiência do presente modelo em outros contextos práticos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRAWAL, Narendra; SMITH, Stephen A. Optimal inventory management for a retail chain with diverse store demands. **European Journal of Operational Research**, v. 225, n. 3, p. 393-403, 2013.
- ARUNRAJ, N. S.; MANDAL, Saptarshi; MAITI, J. Modeling uncertainty in risk assessment: An integrated approach with fuzzy set theory and Monte Carlo simulation. **Accident Analysis & Prevention**, v. 55, p. 242-255, 2013.
- BEN SAID, L.; HMIDEN, M.; GHEDIRA, K. A two-step transshipment model with fuzzy demands and service level constraints. **International Journal of Simulation Modelling**, v. 9, n. 1, p. 40-52, 2010.
- CHEN, Shih-Pin; HO, Yann-Horng. Analysis of the newsboy problem with fuzzy demands and incremental discounts. **International Journal of Production Economics**, v. 129, n. 1, p. 169-177, 2011.
- CHRISTOPHER, Martin. Logistics and supply chain management: Strategies for reducing cost and improving service. 1998.
- CHU, Ching-Wu; LIANG, Gin-Shuh; LIAO, Chien-Tseng. Controlling inventory by combining ABC analysis and fuzzy classification. **Computers & Industrial Engineering**, v. 55, n. 4, p. 841-851, 2008.
- DANIEL, J.; RAJENDRAN, Chandrasekharan. A simulation-based genetic algorithm for inventory optimization in a serial supply chain. **International Transactions in Operational Research**, v. 12, n. 1, p. 101-127, 2005.
- DE LEEUW, Sander; VAN GOOR, Ad R.; PLOOS VAN AMSTEL, Rien. The selection of distribution control techniques. **The International Journal of Logistics Management**, v. 10, n. 1, p. 97-112, 1999.

DE VERICOURT, Francis; KARAESMEN, Fikri; DALLERY, Yves. Optimal stock allocation for a capacitated supply system. **Management Science**, v. 48, n. 11, p. 1486-1501, 2002.

EPPEN, Gary; SCHRAGE, Linus. Centralized ordering policies in a multi-warehouse system with lead times and random demand. **Multi-level production/inventory control systems: Theory and practice**, v. 16, p. 51-67, 1981.

EREN, Bahtiyar; CHAN, Yupo. A Combined Inventory and Lateral Re-Supply Model for Repairable Items—Part I: Modeling an Air Force Logistics Problem. In: **Military Logistics**. Springer International Publishing, 2015. p. 73-88.

FEDERGRUEN, Awi; ZIPKIN, Paul. Approximations of dynamic, multilocation production and inventory problems. **Management Science**, v. 30, n. 1, p. 69-84, 1984.

GANESHAN, Ram. Managing supply chain inventories: A multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model. **International Journal of Production Economics**, v. 59, n. 1, p. 341-354, 1999.

GEN, Mitsuo; TSUJIMURA, Yasuhiro; ZHENG, Dazhong. An application of fuzzy set theory to inventory control models. **Computers & industrial engineering**, v. 33, n. 3, p. 553-556, 1997.

GIANNOCCARO, Ilaria; PONTRANDOLFO, Pierpaolo; SCOZZI, Barbara. A fuzzy echelon approach for inventory management in supply chains. **European Journal of Operational Research**, v. 149, n. 1, p. 185-196, 2003.

HANDFIELD, Robert; WARSING, Don; WU, Xinmin. (Q, r) Inventory policies in a fuzzy uncertain supply chain environment. **European Journal of Operational Research**, v. 197, n. 2, p. 609-619, 2009.

HARIGA, Moncer A.; AL-AHMARI, Abdulrahman. An integrated retail space allocation and lot sizing models under vendor managed inventory and consignment stock arrangements. **Computers & Industrial Engineering**, v. 64, n. 1, p. 45-55, 2013.

HOWARD, Christian; MARKLUND, Johan. Evaluation of stock allocation policies in a divergent inventory system with shipment consolidation. **European Journal of Operational Research**, v. 211, n. 2, p. 298-309, 2011.

HU, Jin-Song et al. Supply chain coordination for fuzzy random newsboy problem with imperfect quality. **International Journal of Approximate Reasoning**, v. 51, n. 7, p. 771-784, 2010.

JACKSON, Peter L. Stock allocation in a two-echelon distribution system or “what to do until your ship comes in”. **Management Science**, v. 34, n. 7, p. 880-895, 1988.

JÖNSSON, Henrik; SILVER, EDWARD A. Stock allocation among a central warehouse and identical regional warehouses in a particular push inventory control system. **International Journal of Production Research**, v. 25, n. 2, p. 191-205, 1987.

KAO, Chiang; HSU, Wen-Kai. Lot size-reorder point inventory model with fuzzy demands. **Computers & Mathematics with Applications**, v. 43, n. 10, p. 1291-1302, 2002b.

KATAGIRI, Hideki; ISHII, Hiroaki. Fuzzy inventory problems for perishable commodities. **European Journal of Operational Research**, v. 138, n. 3, p. 545-553, 2002.

KENTEL, E.; ARAL, M. M. 2D Monte Carlo versus 2D fuzzy Monte Carlo health risk assessment. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 19, n. 1, p. 86-96, 2005.

KO, Mark; TIWARI, Ashutosh; MEHNEN, Jörn. A review of soft computing applications in supply chain management. **Applied Soft Computing**, v. 10, n. 3, p. 661-674, 2010.

KRISTIANTO, Yohanes et al. A model of resilient supply chain network design: A two-stage programming with fuzzy shortest path. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 1, p. 39-49, 2014.

- LAGODIMOS, A. G. Multi-echelon service models for inventory systems under different rationing policies. **International Journal of Production Research**, v. 30, n. 4, p. 939-956, 1992.
- LAU, H. C. W. et al. A decision support system to facilitate resources allocation: an OLAP-based neural network approach. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 15, n. 8, p. 771-778, 2004.
- LIMA, Maurício Pimenta. Custos logísticos na economia brasileira. **Revista Tecnológica**, v. 11, n. 122, p. 64-69, 2006.
- LIN, Yu-Jen. A periodic review inventory model involving fuzzy expected demand short and fuzzy backorder rate. **Computers & Industrial Engineering**, v. 54, n. 3, p. 666-676, 2008.
- MANDAMI, E. H. Applications of Fuzzy Algorithms for Simple Dynamic Plant. **Proc. IEEE**, v. 121, n. 12, 1974.
- MAMDANI, Ebrahim H.; ASSILIAN, Sedrak. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. **International journal of man-machine studies**, v. 7, n. 1, p. 1-13, 1975.
- NAHMIAS, Steven. Perishable inventory theory: A review. **Operations research**, v. 30, n. 4, p. 680-708, 1982.
- PÉREZ-RODRÍGUEZ, Noel; HOLGUÍN-VERAS, José. Inventory-Allocation Distribution Models for Postdisaster Humanitarian Logistics with Explicit Consideration of Deprivation Costs. **Transportation Science**, 2015.
- SAMAL, N. K.; PRATIHAR, D. K. Optimization of variable demand fuzzy economic order quantity inventory models without and with backordering. **Computers & Industrial Engineering**, v. 78, p. 148-162, 2014.

SARKAR, Biswajit; MAHAPATRA, Amalendu Singha. Periodic review fuzzy inventory model with variable lead time and fuzzy demand. **International Transactions in Operational Research**, 2015.

SHEU, Jih-Bing. A novel dynamic resource allocation model for demand-responsive city logistics distribution operations. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 42, n. 6, p. 445-472, 2006.

SU, Rung-Hung; YANG, Dong-Yuh; PEARN, Wen Lea. Decision-making in a single-period inventory environment with fuzzy demand. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 3, p. 1909-1916, 2011.

TANTATEMEE, T.; PHRUKSAPHANRAT, B. Fuzzy inventory control system for uncertain demand and supply. In: **Proceedings of the international multiconference of engineers and computer scientists**. 2012. p. 1224-1229.

TAYUR, Sridhar; GANESHAN, Ram; MAGAZINE, Michael (Ed.). **Quantitative models for supply chain management**. Springer Science & Business Media, 2012.

WANG, Lin; FU, Qing-Liang; ZENG, Yu-Rong. Continuous review inventory models with a mixture of backorders and lost sales under fuzzy demand and different decision situations. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 4, p. 4181-4189, 2012.

WANG, Wei; FUNG, Richard YK; CHAI, Yueting. Approach of just-in-time distribution requirements planning for supply chain management. **International journal of production economics**, v. 91, n. 2, p. 101-107, 2004.

WANKE, Peter F. Consolidation effects and inventory portfolios. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 45, n. 1, p. 107-124, 2009.

WANKE, Peter F.; SALIBY, Eduardo. Consolidation effects: Whether and how inventories should be pooled. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 45, n. 5, p. 678-692, 2009.

WANKE, Peter F. Product, operation, and demand relationships between manufacturers and retailers. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 48, n. 1, p. 340-354, 2012.

WU, Horng Huei; YEH, Cheng Shin. A Study of the Bin Inventory Allocation model for LED-CM Plants. In: **Applied Mechanics and Materials**. 2014. p. 4440-4443.

XIE, Ying; PETROVIC, Dobrila. Fuzzy-logic-based decision-making system for stock allocation in a distribution supply chain. **Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management**, v. 14, n. 1-2, p. 27-42, 2006.

YAO, Jing-Shing; LEE, Huey-Ming. Fuzzy inventory with or without backorder for fuzzy order quantity with trapezoid fuzzy number. **Fuzzy sets and systems**, v. 105, n. 3, p. 311-337, 1999.

ZADEH, Lotfi A. Fuzzy sets. **Information and control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.