

LÓGICA *FUZZY*: UMA PROPOSTA DE APLICAÇÃO NA GESTÃO DE ESTOQUES

Gilbert Queiroz dos Santos
Instituto Militar de Engenharia – IME
gilbert@ime.eb.br

Resumo

A melhoria da gestão de estoques de uma organização é de suma importância na atualidade. O presente artigo tem como finalidade apresentar uma proposta de aplicação da Lógica Fuzzy na gestão de estoques de uma organização, com intuito de reduzir a falta de material em estoque, em virtude do “lead time” para a reposição de diversos materiais.

Palavras-chave: Lógica Fuzzy, Gestão de Estoques, Lead Time.

Abstract

Nowadays, an improvement inventory management of an organization is extremely important. This article aims to introduce a proposal of application of fuzzy logic in inventory management of an organization, in order to reduce the lack of materials in stock, provoked by the lead time for the replenishment of various materials.

Keywords: Fuzzy Logic, Inventory Management; Lead Time.

1. INTRODUÇÃO

A área de estoque de uma organização, seja pública ou privada, é responsável, de forma geral, pelo controle de fluxo de materiais internamente, devendo, portanto, equilibrar as necessidades e as disponibilidades de recursos da organização, sejam eles recursos humanos, de materiais, de espaço físico, financeiro, entre outros (TADEU, 2010).

Segundo Wanke(2003), a importância atribuída à gestão de estoque como elemento fundamental para redução e o controle de custos totais e melhoria do nível de serviço prestado pela empresa é crescente, uma vez que em linhas gerais, o estoque aparece na cadeia de valor sobre diversos formatos (matérias-primas, produtos em processamento e produtos acabados) e características, e que exige, para cada formato, procedimentos distintos de planejamento e controle, influenciando significativamente a gestão de estoque.

A palavra chave na gestão de estoques é o planejamento, em virtude do cenário de incerteza que permeia as organizações. Para a administração pública não é diferente, uma vez que, em função da necessidade de racionalização constante de gastos e de potenciais ameaças de cortes de orçamento, as instituições do setor público devem evitar ao máximo os desperdícios, principalmente no que se refere à manutenção de estoques elevados de produtos e materiais sob seu patrimônio que são gerenciados de forma muito precária, incorrendo muitas vezes em excessos altamente penosos.

Este gerenciamento precário nas instituições públicas se deve pela falta de recursos tecnológicos para apoiar a gestão de estoques, bem como a falta de capacitação do gestor de estoques, que em várias ocasiões, são nomeados para o cargo sem nenhum conhecimento sobre o tema.

Segundo Gasnier(2002), o gestor de estoques é o responsável por analisar e decidir o que deve e o que não deve colocar ou repor nos estoques da empresa. Ainda para este autor, o gestor de estoques deve ter as seguintes competências e habilidades:

Competências	Habilidades
Forte base conceitual e analítica em PPCP e interfaces; Boas noções de informática(MRP, MS-Excel®, MS-Project®, e-mail e internet; Conhecimento de tecnologia de informação aplicada à logística.	Conhecimento de técnicas de JIT/Kanban, MRP-II, PERT/CPM e TOC; Experiência prática de processos de inventário de materiais, suprimentos, importação, administração da distribuição e transportes, faturamento, tributação etc.

Quadro 1: Competências e habilidades do Gestor de Estoques

Fonte: Gasnier(2002)

Tendo em vista que, no setro público, com rara exceções, o gestor de estoques não possuirá um amplo domínio na área, principalmente, com relação às técnicas de dimensionamento do lote de compra e fabricação, aos modelos de estoque (reposição contínua e reposição periódica) e à definição do estoque de segurança, é proposta neste trabalho a aplicação da Lógica Fuzzy na gestão de estoques de uma organização pública, da Administração Federal, localizada em Manaus-AM.

2. LÓGICA FUZZY

Segundo Weber e Klein (2003), o conceito de conjunto *fuzzy* foi introduzido em 1965 por Lotfi A. Zadeh, da Universidade de Berkeley, Califórnia, EUA, cujo reconhecimento lhe é atribuído como grande colaborador da lógica, do controle moderno e da inteligência artificial.

Zadeh, ainda segundo os autores, em meados da década de 60, observou que os recursos tecnológicos disponíveis eram incapazes de automatizar a atividade humana relacionadas a problemas de natureza industrial, biológica ou química, que compreendessem

situações ambíguas, ou que, segundo suas próprias palavras, apresentassem “sentimentos matemáticos humanísticos”.

Em 1973, Zadeh apresentou o princípio da incompatibilidade:

“À medida que a complexidade de um sistema aumenta, nossa habilidade para fazer afirmações precisas e que sejam significativas acerca deste sistema diminui até que um limiar é atingido além do qual precisão e relevância tornam-se quase características mutuamente exclusivas” (WEBER e KLEIN, 2003, p. 23).

Oliveira Junior (1999) define Lógica *Fuzzy* como um conjunto de métodos baseados no conceito de conjunto *fuzzy* (*fuzzy set*) e operações *fuzzy*, que possibilita a modelagem realista e flexível de sistemas. O autor ressalta que, apesar do nome, a lógica *fuzzy* não se trata de uma vertente da Lógica Matemática, nem uma nova Teoria de Conjuntos, e muito menos um paradigma conflitante com a Teoria das Probabilidades, mas um teoria formulada por meio de conceitos da Teoria dos Conjuntos de Cantor e se mostra como importante ferramenta no tratamento de sistemas estocásticos, aliada ao conhecimento já estabelecido nos modelos estatísticos.

Formalmente, um conjunto *fuzzy* F é definido como o conjunto de pares ordenados contendo o elemento x e seu grau de pertinência no conjunto:

$$F = \{(x; \mu_F(x)) \mid x \in U\}$$

Onde U é chamado universo de discurso e $\mu_F(x)$ a função de pertinência associada ao conjunto F (Oliveira Junior, 1999).

3. APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY EM SISTEMAS DE GESTÃO DE ESTOQUES

Neste artigo é discutida a aplicação da lógica *fuzzy* em sistemas de gestão de estoque, em substituição aos tradicionais modelos matemáticos, em que é sugerido que se construa o modelo *fuzzy* de estoques de materiais, por meio de bases de conhecimento *fuzzy*.

Segundo Oliveira Junior (1999), o objetivo idealizado para um modelo como este é atingir um nível de estoque próximo de zero, imediatamente antes da reposição física, minimizando:

- a) O capital empenhado em mercadorias;
- b) Os custos de armazenamento;
- c) Os prejuízos com furtos, roubos e danos; e
- d) O número de atendimentos não realizados por falta de mercadorias.

Para o autor, as hipóteses simplificadoras devem ser:

- os itens são desacoplados, ou seja, a análise é feita para cada tipo de item isoladamente (caso contrário, ter-se-ia que “enriquecer” as regras *fuzzy*);
- o período amostral é único;
- a latência dos pedidos tem valor preciso, ou seja, pode-se contar com a chegada do produto encomendado no prazo contratado, o que muitas vezes não acontece.

Conforme explica Tanscheit (*Apud* OLIVEIRA JUNIOR, 2007, p. 254), um sistema *fuzzy* é composto por quatro módulos, conforma a figura a seguir:

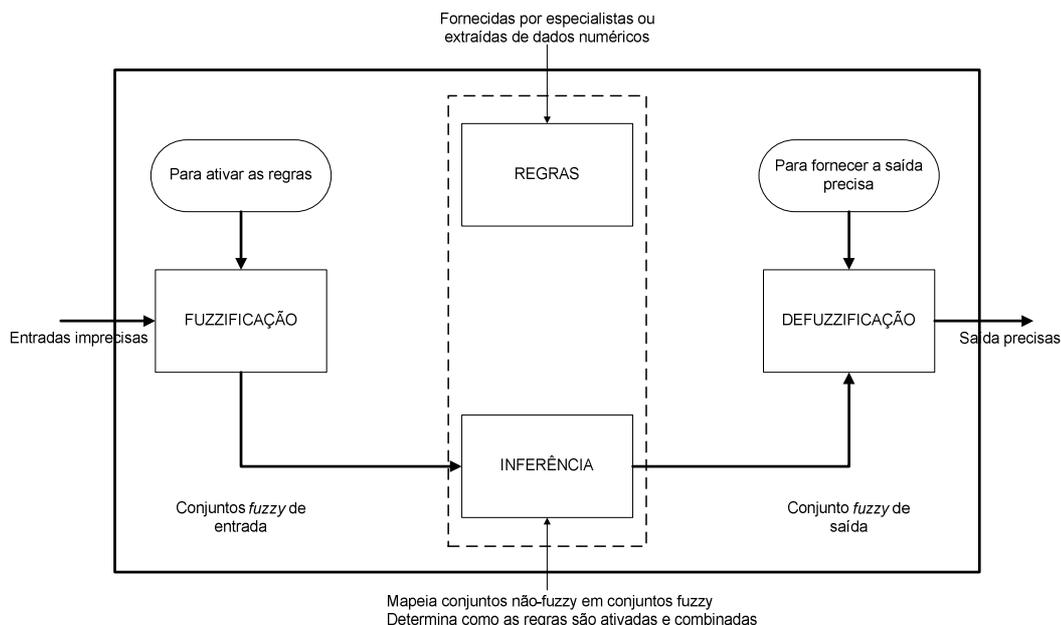


Figura 1: Sistema *Fuzzy*

Simões e Shaw (2007) explicam que uma variável lingüística x no universo de discurso U é definida em um conjunto de termos (ou terminologia), nomes ou rótulos $T(x)$, com cada valor sendo um número *fuzzy* definido em U .

Os autores também citam que o universo de discurso de uma variável representa o intervalo numérico de todos os possíveis valores reais que uma variável específica pode assumir.

O modelo proposto foi aplicado à gestão de estoques de um órgão do Setor Público Federal em Manaus-AM. As variáveis de entrada utilizadas no estudo são Nível de Estoque (NS) e Demanda (D). Já as variáveis de saída serão: Atendimento, Reposição e Licitação. Ou seja, para cada variável de saída, as entradas sempre serão Nível de Estoque (NS) e Demanda (D).

Para o presente estudo, as variáveis lingüísticas e os termos lingüísticos utilizados nas variáveis de entrada e saída foram:

Situação	Variáveis lingüísticas	Universo de discurso	Termos
Entrada	Nível de estoque	[0; 1]	[Baixo, Médio, Alto]
	Demanda	[0; 0,5]	[Baixa, Média, Alta]
Saída	Atendimento	[0; 1]	[Com autorização, com restrição, Normal]
	Reposição	[0; 1]	[Baixa, Média, Alta]
	Licitação	[0; 1]	[Sim, Não]

Quadro 2: Variáveis do sistema, universo de discurso e termos lingüísticos

4. FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA *FUZZY*

Simões e Shaw (2007) explicam que as funções de pertinência *fuzzy* representam os aspectos fundamentais de todas as ações teóricas e práticas de sistemas *fuzzy*. Para os autores, uma função de pertinência é uma função numérica gráfica ou tabulada que atribui valores de pertinência *fuzzy* para os valores discretos de uma variável, em seu universo de discurso.

Oliveira Junior (2008) cita que as funções de pertinência fazem o papel das curvas de possibilidade da teoria clássica da Lógica *Fuzzy* e ainda que, sendo os conjuntos *fuzzy*

apropriados para representar noções vagas, frequentemente encontradas no mundo real, é a função de pertinência que define as fronteiras desses conjuntos. Para o autor, a princípio, qualquer função com domínio U e imagem [0, 1] pode ser utilizada como função de pertinência, e que o gráfico gerado por esta função possui no eixo das abscissas as grandezas sob avaliação (temperatura, pressão, preço etc.) e no eixo das ordenadas o grau de compatibilidade entre um valor particular e o conceito específico sob modelagem.

As principais funções de pertinência são:

a) Triangular: sejam os parâmetros a, b e c. A função de pertinência triangular será

$$\mu_F(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{Se } x \in [a, b) \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{Se } x \in [b, c] \\ 0 & \text{Caso contrário} \end{cases}$$

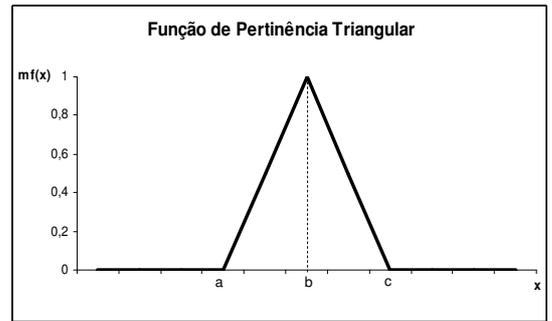


Figura 2: Função de pertinência Triangular

b) Trapezoidal: sejam os parâmetros a, b, c, d e e. A função de pertinência trapezoidal será:

$$\mu_F(x) = \begin{cases} \frac{(x-a)}{b-a} & \text{Se } x \in [a, b) \\ 1 & \text{Se } x \in [b, c] \\ \frac{(d-x)}{d-c} & \text{Se } x \in [c, d] \\ 0 & \text{Caso contrário} \end{cases}$$

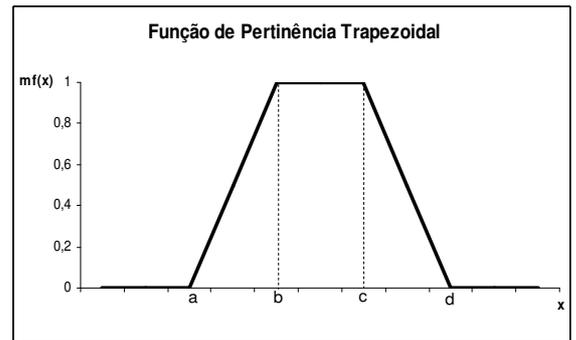


Figura 3: Função de pertinência Trapezoidal

c) Gaussiana: sejam os parâmetros a, b e c. A função de pertinência Gaussiana será:

$$\mu_F(x) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{a}\right)^2}$$

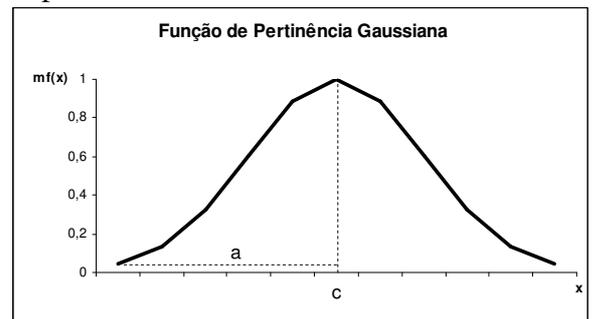


Figura 4: função de pertinência Gaussiana

As funções de pertinência do estudo em questão são as seguintes para as variáveis de entrada:

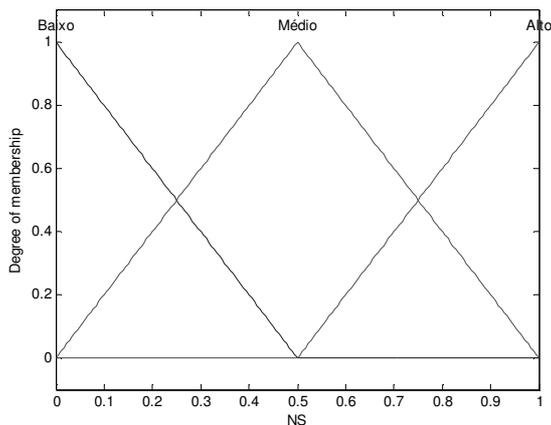


Figura 5: Função de pertinência de variável “Nível de Estoque”

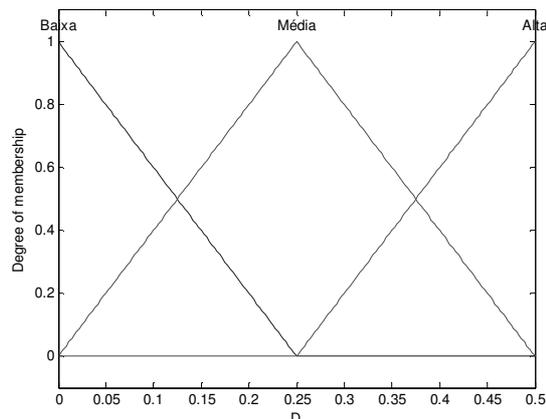


Figura 6: Função de pertinência de variável “Demanda”

Já para as variáveis de saída do estudo em questão, as funções de pertinência são:

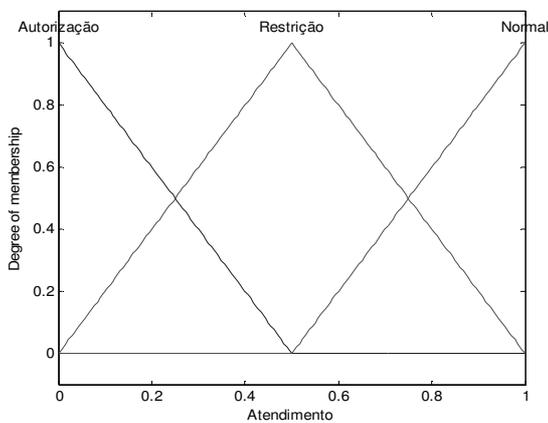


Figura 7: Função de pertinência de variável “Atendimento”

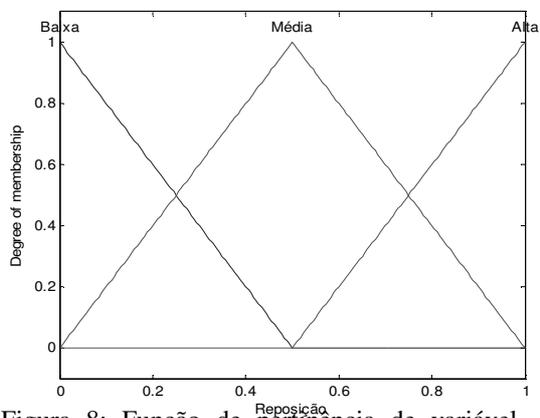


Figura 8: Função de pertinência de variável “Reposição”

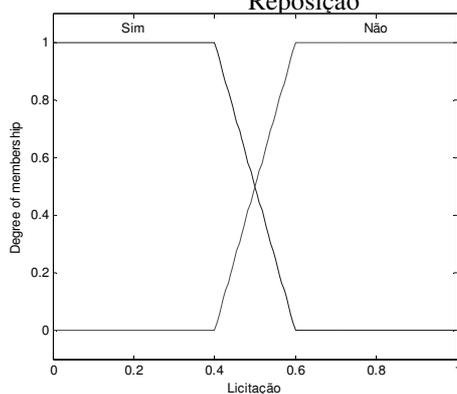


Figura 9: Função de pertinência de variável “Licitação”

5. FUZZIFICAÇÃO DOS DADOS

Segundo Simões e Shaw (2007) a fuzzificação é um mapeamento do domínio de números reais (em geral discretos) para o domínio *fuzzy*, e também representa que há atribuição de valores lingüísticos, descrições vagas ou qualitativas, definidas por funções de pertinência às variáveis de entrada, sendo ainda uma espécie de pré-processamento de categorias ou classes dos sinais de entrada, reduzindo grandemente o número de valores a serem processados.

Corrêa e Baéssa (2007) citam que a fuzzificação é um processo de conversão da entrada numérica em conjuntos *fuzzy*, e que ela é uma operação fundamental, pois em grande parte das aplicações de lógica *fuzzy* os dados são numéricos, sendo necessário então fuzzificar estes em conjuntos *fuzzy*. Os autores explicam que um conjunto numérico X é convertido em um conjunto *fuzzy* x por meio de um fuzzificador:

$$x = \text{fuzzificador}(X)$$

Para estes autores, a estratégia de fuzzificação a utilizar é definida a partir do tipo de inferência utilizado, e que a base de conhecimento é composta pela base de regras e base de dados, sendo que a base de regras é o conjunto de regras que descrevem o sistema, e estas regras são definidas da seguinte forma:

SE (entrada) ENTÃO (saída)
antecedente conseqüente

Segundo Corrêa e Baéssa (2007) a construção da base de regras envolve: a escolha das variáveis lingüísticas, a seleção do formato das regras condicionais, a seleção dos termos associados a cada variável lingüística e a síntese do conjunto de regras.

Gomide e Gudwin (1994) afirmam que em um sistema *fuzzy* (representando um modelo ou um controlador, por exemplo), cada regra *fuzzy* é representada por uma relação *fuzzy*, e que o comportamento do sistema *fuzzy* é caracterizado pelo conjunto de relações *fuzzy* associadas às regras, sendo que o sistema, como um todo, será representado por uma única relação *fuzzy*, que é uma combinação de todas as relações *fuzzy* proveniente de diversas regras, sendo que esta combinação envolve um operador de agregação de regras:

$$R = \text{agreg}(R_1, R_2, \dots, R_n)$$

Este operador de agregação de regras pode ser:

- a) União: $\mu_{A \cup B} = \max[\mu_A, \mu_B]$
- b) Intersecção: $\mu_{A \cap B} = \min[\mu_A, \mu_B]$
- c) Complemento: $\mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A$

Foi utilizado neste trabalho o modelo de Mamdani (1975), que caracteriza-se por utilizar os conjuntos *fuzzy* como conseqüentes das regras de produção, onde:

Regra i: se X_1 é $A_{i,1}$, e (...) e X_m é $A_{i,m}$ então Y é C_i

Onde X_i são as variáveis de entrada, Y é a variável de saída, A_i e C_i são conjuntos *fuzzy*. A figura a seguir ilustra a representação do modelo clássico de Mamdani (CAMPOS e SILVA, 2008)

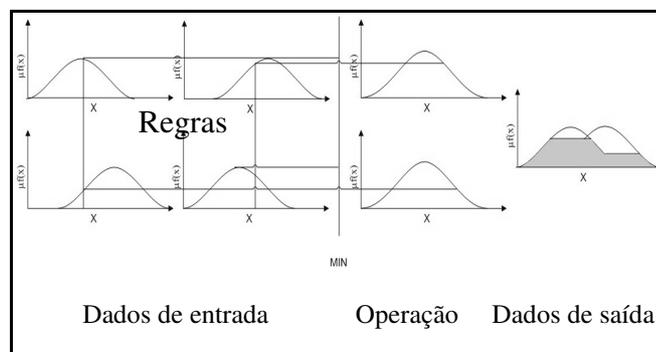


Figura 10: Fuzzificação

Segundo Rotshtein et al (2003), a base de conhecimento fuzzy define um modelo fuzzy. No presente estudo utilizou-se o modelo de Mandani, sendo a base de conhecimento dada da seguinte forma:

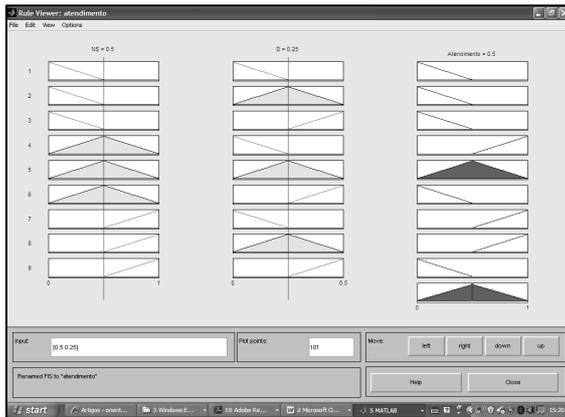


Figura 11: Base de regras e fuzzificação da variável “Atendimento”

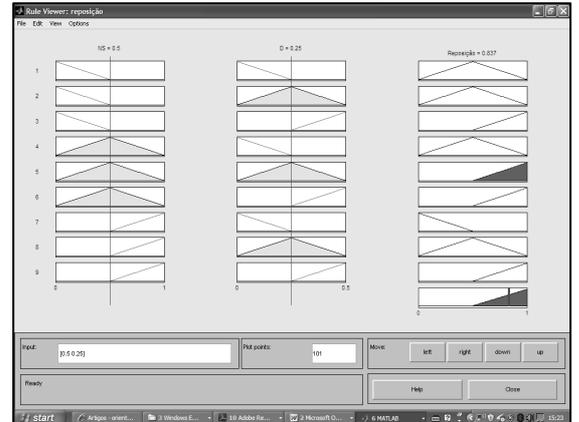


Figura 12: Base de regras e fuzzificação da variável “Reposição”

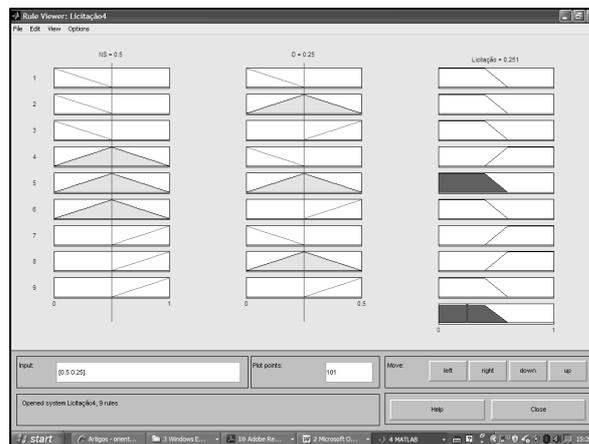


Figura 13: Base de regras e fuzzificação da variável “Licitação”

6. DEFUZZIFICAÇÃO DOS DADOS

Simões e Shaw (2007) citam que na defuzzificação, o valor da variável lingüística de saída inferida pelas regras *fuzzy* será traduzido num valor discreto e que o objetivo é obter-se um único valor numérico discreto que melhor represente os valores fuzzy inferidos da variável lingüística de saída, ou seja, a distribuição de possibilidades. Desta forma, a defuzzificação, de acordo com estes autores, é uma transformação inversa que traduz a saída do domínio *fuzzy* para o domínio discreto e para utilizar o método apropriado de defuzzificação, segundo os autores, pode-se utilizar um enfoque baseado no centróide ou nos valores máximos que ocorrem na função de pertinência resultante.

Os métodos mais utilizados na defuzzificação são: centro-da-área (COA), centro-de-máximo (COM) e média-do-máximo (MOM).

No presente trabalho, utilizou-se o método COA para as três variáveis de saída para obtenção do valor defuzzificado.

7. RESULTADOS

O sistema *fuzzy* proposto foi implementado com auxílio do *Fuzzy Toolbox*® do MatLab e testado com diferentes valores das variáveis de entrada NS e D. A obtenção destas variáveis é feita pelo próprio sistema da seguinte forma:

$$NS = \frac{E_{dia}}{E_{inicial}} \quad (2)$$

$$D = \frac{Q_{pedido}}{E_{dia}} \quad (3)$$

Onde:

E_{dia} : é o estoque do dia considerado

$E_{inicial}$: é o estoque inicial do período considerado

Q_{pedido} : é a quantidade do pedido do item i

O E_{dia} é obtido da seguinte forma: $E_{dia_i} = E_{final_{i-1}} + Q_{reposição_i} - Q_{pedido_i}$

Como foi citado anteriormente, NS é o o nível de estoque de um determinado item em um dado momento e D é a demanda deste item no mesmo momento.

E_{final} é o estoque de um determinado item ao final de um dia. A $Q_{reposição}$ é a quantidade necessária para a reposição em estoque de um determinado item e é obtida multiplicando-se o valor defuzzificado da variável lingüística “Reposição” pelo valor inicial do estoque do período considerado $E_{inicial}$.

A partir dos dados coletados, foram gerados os gráficos a seguir:

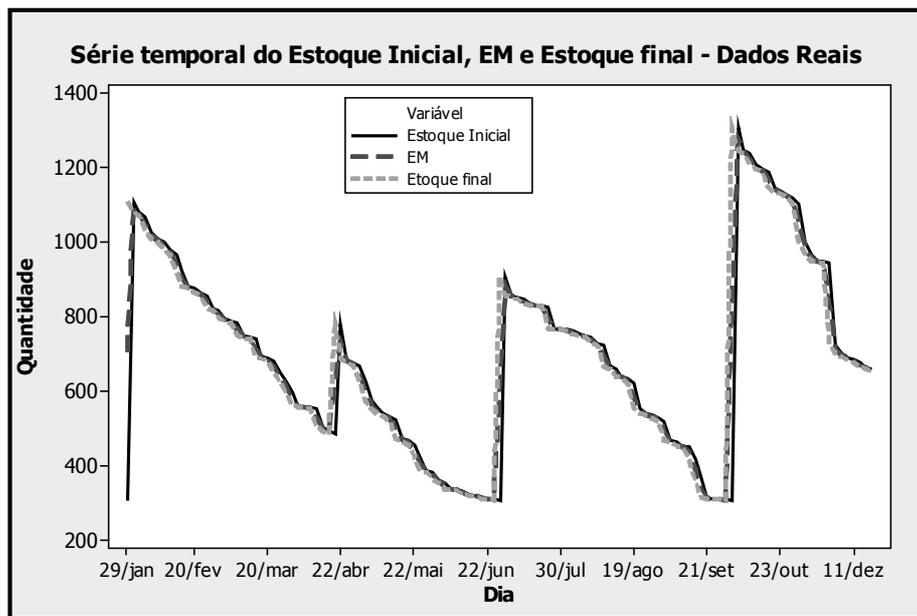


Gráfico 1: Série temporal do Estoque Inicial, Estoque-médio (EM) e Estoque Final – Dados Reais

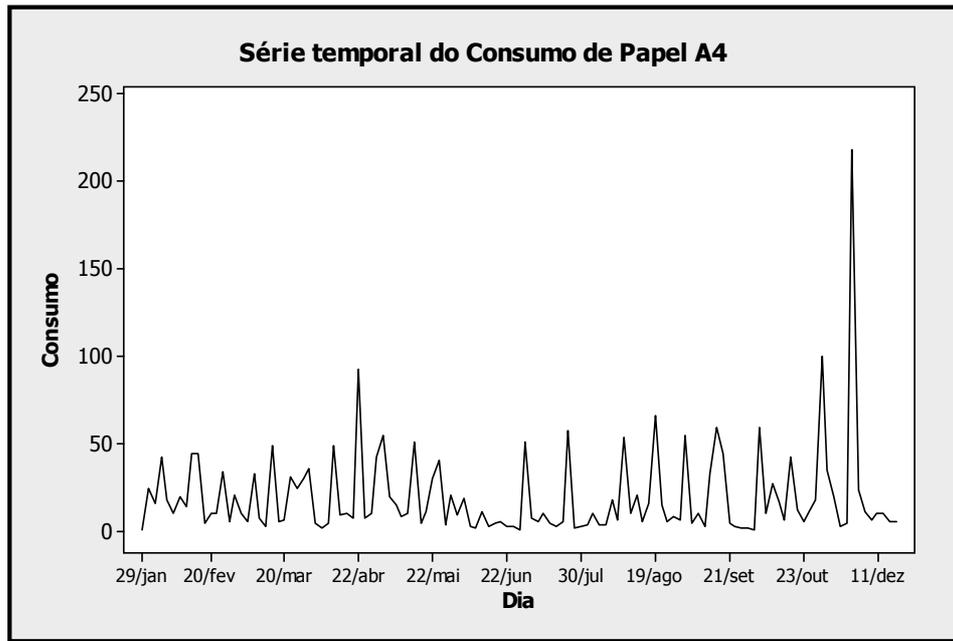


Gráfico 2: Série temporal do Consumo de Papel A4 – Dados reais

Com base nestes dados coletados foram calculados o NS e D, conforme as fórmulas (2) e (3).

Por exemplo, em um determinado dia, o estoque inicial era de 305 unidades. Neste dia, não houve entrada e não houve consumo do item pesquisado, o que resultou no estoque final de 305 unidades, conforme a fórmula (4). As variáveis NS e D ficaram com os seguintes valores:

$$NS = \frac{E_{dia}}{E_{inicial}} = \frac{305}{305} = 1,000$$

$$D = \frac{Q_{pedido}}{E_{dia}} = \frac{0}{305} = 0$$

Utilizando os valores coletados do item em estudo, foram calculados NS e D conforme acima descrito, para os demais dias.

Os valores de NS e D são as variáveis de entrada, descritas anteriormente. Então, com base nestas variáveis, temos, por exemplo, os seguintes resultados *fuzzy* para a variável “Atendimento”, “Reposição” e “Licitação”:

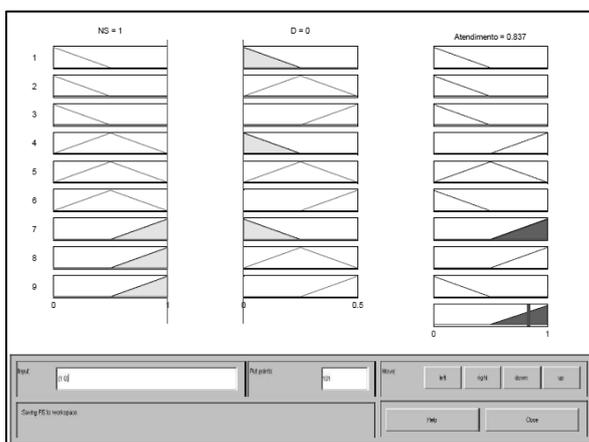


Figura 14: Resultado *Fuzzy* para NS = 1 e D = 0 – Variável “Atendimento”

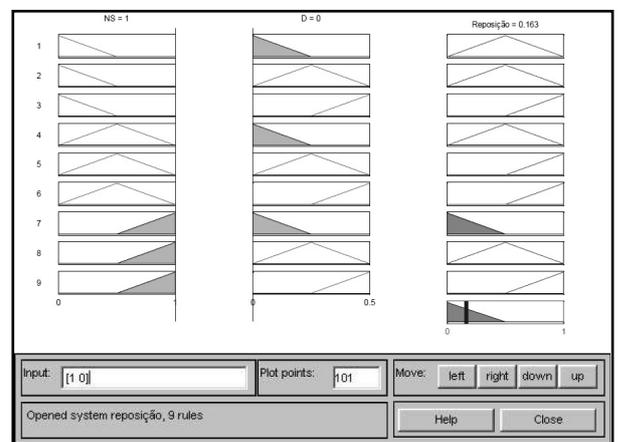


Figura 15: Resultado *Fuzzy* para NS = 1 e D = 0 – Variável “Reposição”

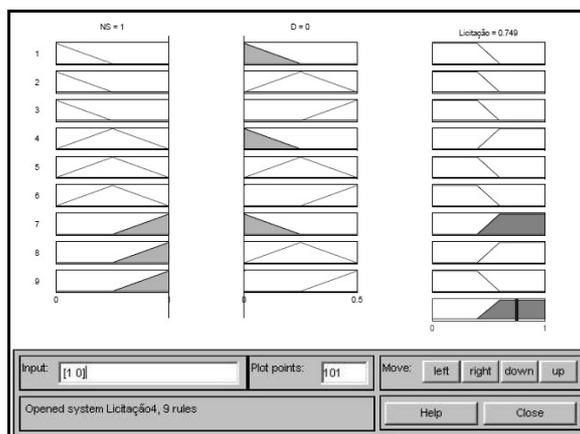


Figura 16: Resultado *Fuzzy* para NS = 1 e D = 0 – Variável “Licitação”

Os resultados *fuzzy* mostrados nas figuras 14, 15 e 16 são traduzidos com base nos valores definidos no Quadro 2 para as variáveis “Atendimento”, “Reposição” e “Licitação”. Assim, o valor *fuzzy* da figura 14 é traduzido em “Normal”, ou seja, indica ao Gestor de Estoques que o atendimento do pedido é normal. O valor *fuzzy* da figura 15 é traduzido em “Baixa”, ou seja, indica que se fosse necessária a reposição do estoque, a quantidade seria baixa. Já o valor *fuzzy* da figura 16 é traduzido em “Não”, ou seja, indica que não é necessário avisar o Setor de Licitações para adquirir mais unidades do determinado item.

Isto foi feito para todos os outros dias do item em estudo, o que gerou os seguintes resultados com relação ao Estoque-Médio (EM), temos os seguintes estatísticos dos dois processo: real (sem a metodologia *fuzzy*) e *fuzzy*.

Tabela 1: Dados estatísticos dos Estoques-Médios

Parâmetros	EM-Real	EM-Fuzzy
n	123	123
Média	693,5	393,1
DP	247,6	126,7
CV	35,71	32,23

Graficamente, temos

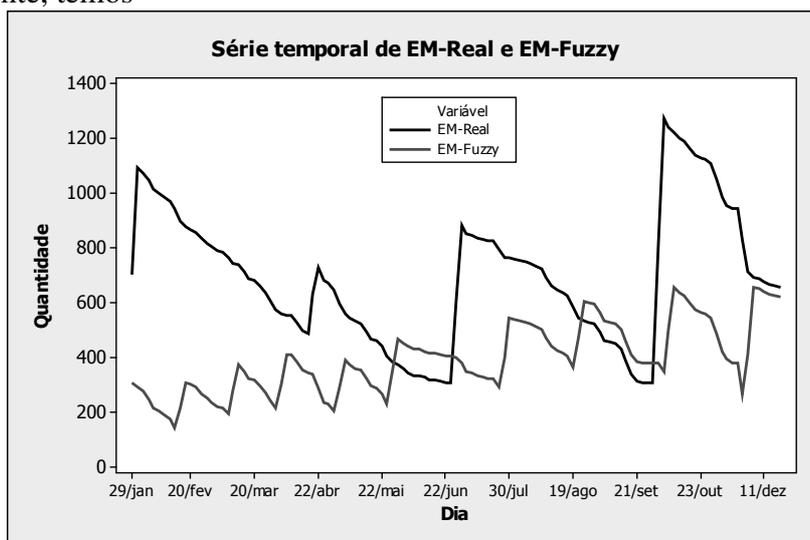


Gráfico 3: Série temporal do Estoque-Médio do processo real e do com a Metodologia *Fuzzy*

Com base nos dados estatísticos dos Estoques-Médios, Real e com a metodologia *Fuzzy*, percebe-se que a diferença entre suas médias é significativa, da ordem de 300,4 unidades, com p-valor de 0,000.

8. CONCLUSÃO

Pelo que foi proposto, verifica-se que é viável a utilização da Lógica *Fuzzy* na gestão de estoques de uma organização, uma vez que com a criação de um sistema, será possível auxiliar a tomada de decisão de compras, para que seja feito o reabastecimento de material, sem que ocorra a falta em estoque e ainda que, seja adquirido uma quantidade suficiente, sem desperdícios.

A vantagem da abordagem proposta consiste no fato de que ele não exige a utilização de uma complexa programação matemática, uma vez que regras de SE-ENTÃO são usadas e são formalizadas por meio da lógica *fuzzy*.

Com a utilização desta metodologia, haverá como reduzir o *lead time*, uma vez que se sabe que quanto maior ele for, ocasiona, na maioria das vezes a falta do material em estoque.

9. REFERÊNCIAS

- [1] CAMPOS, Edilene A. Veneruchi; SILVA, Helder Coelho. **Sistemas inteligentes para tomada de decisões utilizando Lógica Fuzzy.** Disponível em <<http://sare.unianhanguera.edu.br/index.php/anudo/article/viewFile/459/449>> Acesso em 29 Mai 2010.
- [2] CORRÊA, Marcelo Vieira; BAÉSSA, João Pedro Drumond. **Identificação de sistemas dinâmicos não-lineares utilizando Lógica Fuzzy.** Disponível em <http://www.unilestemg.br/principiumonline/publicacoes/03/downloads/68_86_identificacao_de_sistemas.pdf> Acesso em 29 Mai 2010.
- [3] GASNIER, Daniel Georges. **A Dinâmica dos Estoques:** Guia Prático para Planejamento, Gestão de Materiais e Logística. São Paulo: IMAM, 2002.
- [4] GOMIDE, Fernando Antonio Campos; GUDWIN, Ricardo Ribeiro. **Modelagem, controle, sistemas e Lógica Fuzzy.** Disponível em <<ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/gudwin/publications/RevSBA94.pdf>> Acesso em 29 Mai 2010.
- [5] MAMDANI, E. H.; ASSILAN, S. A. **An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller.** Int. J. Man - machine Studies, 7. 1975. p1-13.
- [6] OLIVEIRA JR, Hime Aguiar. **Lógica Difusa:** Aspectos práticos e aplicações. Rio de Janeiro: Interciência, 1999.
- [7] _____(Coord). **Inteligência Computacional:** Aplicada à Administração, Economia e Engenharia em MatLab®. São Paulo: Thomson Learning, 2007.
- [8] ROTSHTEIN, Alexander. et al. **Inventory control as identification problem based on Fuzzy Logic.** Disponível em <http://braude.ort.org.il/industrial/13thconf/html/.%5Cfiles%5C150_p.pdf> Acesso em 29 Mai 10.
- [9] SIMÕES, Marcelo Godoy; SHAW, Ian S. **Controle e modelagem fuzzy.** São Paulo: Blücher/FAPESP, 2007.
- [10] TADEU, Hugo Ferreira Braga (Org.). **Gestão de Estoques:** Fundamentos, Modelos Matemáticos e Melhores práticas. São Paulo: Cengage Learning, 2010.
- [11] WANKE, Peter. **Gestão de Estoques na Cadeia de Suprimento:** Decisões e Modelos Quantitativos. São Paulo: Atlas, 2003.
- [12] WEBER, Leo e KLEIN, Pedro Antonio Trierweiler. **Aplicação da Lógica Fuzzy em Software e Hardware.** Canoas: Ed. Ulbra, 2003.