

# Fuzzy logic for estimating replacement items in inventory management

Rafael Ferreira  
PROCC, Universidade Federal  
de Sergipe  
São Cristóvão, Sergipe, Brasil  
rafaelferreira@gmail.com

Rodrigo Ferreira  
PROCC, Universidade Federal  
de Sergipe  
São Cristóvão, Sergipe, Brasil  
rodrigorf33@gmail.com

Hendrik Macedo  
DCOMP, Universidade Federal  
de Sergipe  
São Cristóvão, Sergipe, Brasil  
hendrik@dcomp.ufs.br

## ABSTRACT

The aim of this paper is to show how the use of a fuzzy logic system associated to the amount estimation of items in stock can reduce the required amount of spare items of a purchase order, making it possible to determine with greater precision the minimum purchase lot for an order and so minimizing storage costs. Keeping lower the average stock levels without causing shortages and further decrease in service levels, companies can ensure free capital for investments in other strategic areas and have fewer losses in the case of perishable products unnecessarily stored for long periods.

## Keywords

Stock management; Stock level; Fuzzy logic; Purchase optimization

## 1. INTRODUÇÃO

A gestão de estoques constitui uma série de ações que permitem ao gestor verificar se os estoques estão sendo bem utilizados, bem manuseados e bem administrados. O planejamento e boa administração permitem a empresa tomar melhores decisões sobre o melhor momento de compra e o volume de itens a serem adquiridos. Em outras palavras, a gestão de estoques busca reduzir ao máximo o espaço entre a oferta e a demanda, evitando o descontentamento dos clientes e melhorando o nível de serviço. Caso a compra seja superestimada (superdimensionamento), corre-se o risco de perder mercadorias por obsolescência ou prazos de validade vencidos, onerando a empresa tanto pelo desembolso com o material adquirido quanto pelo custo de estocagem de cada insumo. Se comprar a menos, subestimando a demanda do mercado (subdimensionamento), o empresário pode perder oportunidades de venda [3].

O objetivo da gestão de estoque e a administração da logística na cadeia de suprimentos é reduzir ao máximo a discrepância entre oferta e demanda, evitando a diminuição do nível de serviço, e melhorando, consequentemente, a vantagem competitiva e maior lucratividade do negócio. No caso de produtos perecíveis, estocar um volume maior do que a demanda significa prejuízo para a empresa, por perda do prazo de validade. Reduzir demais o volume de bens estocados, porém, pode significar perder vendas ou oferecer prazos demorados demais para o cliente. Encontrar o ponto de equilíbrio entre esse estoque de segurança e a redução de custos e perdas faz muita diferença e erros para mais ou para menos podem ser desastrosos em períodos de crise.

A importância de tal setor na eficiência de uma empresa é muito relevante e um bom controle de estoque resulta em controle de

custos totais, otimização do nível de serviço, e num melhor ambiente de trabalho [3]. Um estoque compatível com as vendas do negócio é o grande desafio do gestor e é imprescindível a utilização de um modelo de previsão de demanda e um modelo formal de dimensionamento de compras.

A imprevisibilidade relacionada ao cenário econômico de uma empresa torna difícil o cálculo de estimativas de estoque com exatidão. Variáveis como nível de estoque e ponto de reposição são consideradas nebulosas, sendo melhor representadas por meio da tradução matemática do discurso de um especialista na área. Para casos deste tipo, a lógica nebulosa ou lógica fuzzy, um dos ramos da inteligência artificial, possibilita uma extensão da lógica booleana que admite valores intermediários entre o falso e o verdadeiro. A lógica fuzzy permite modelar matematicamente expressões linguísticas difíceis de mensurar, tais como “devemos aumentar muito o estoque” ou “devemos comprar pouca matéria-prima”. [2]

A redução ao máximo do espaço entre oferta e demanda de um produto pode ser obtido pela aplicação da Lógica Fuzzy onde a partir de dados da demanda e nível de estoque, é possível determinar com maior precisão a reposição dos itens, de modo que seja atingido um estoque mais enxuto, minimizando o capital utilizado na compra, custos de armazenamento e números de pedidos não atendidos por falta de mercadorias [3].

Modelos de previsão de demandas têm sido alvo de inúmeras pesquisas [6] mas não fazem parte do escopo deste trabalho, sendo a mesma focada na utilização de uma metodologia de lógica fuzzy para se determinar a quantidade a ser repostada (compra) a partir da análise de dados históricos de níveis de estoque e demandas em um período específico do ciclo de vida de um produto. Este trabalho apresenta a aplicação de sistema de Lógica Fuzzy aplicado aos dados de 2 empresas diferentes que utilizam o sistema online de controle de estoque chamado tsEstoque ([www.tsestoque.com.br](http://www.tsestoque.com.br)), para gerenciamento de entradas e saídas de produtos dos seus inventários, com o intuito de permitir que o gestor possa mensurar com maior precisão e simplicidade o nível de estoque.

A abordagem proposta tem baixo custo para ser executado quando comparado a outros métodos e foi projetada para ser parte do sistema do tsEstoque e vir a servir como modelo de *benchmark* e parâmetro de comparação para validação desse tipo de abordagem em empresas reais atuantes no mercado brasileiro em estudos futuros, e sua utilização não exige operadores com conhecimento técnico específico ou aprofundado.

## 2. TRABALHOS RELACIONADOS

Esta seção descreve resumidamente outros trabalhos relacionados à utilização da lógica nebulosa aplicada à gestão de es-

toque, mais especificamente na previsão dos níveis de estoque. A comparação entre este trabalho e os relacionados é feita com base nos seguintes critérios:

1. Base de dados
2. Variáveis de Entrada e Saída
3. Parâmetros de Intensidade
4. Método de defuzzificação

O artigo [3] utiliza dados simulados de uma empresa fictícia de confecção e distribuição de peças de vestuário tendo como proposta controlar a reposição dos produtos armazenados para atingir um estoque próximo ao zero logo antes da reposição física. Toma como entrada apenas o nível de estoque de uma peça e a sua demanda, e retorna como saída o nível de reposição adequado. Os parâmetros de intensidade são mais específicos que em outros trabalhos semelhantes pois considera níveis como "Zero" e "Muito Alta", a escolha do método *Smallest of Maximum (SOM)* para defuzzificação é justificado com base na ideia que níveis muito baixos de reposição são inviáveis economicamente por questões logísticas.

O que foi proposto no artigo de [4] está relacionado a redução da falta de material em estoque de uma instituição pública de Manaus, de forma semelhante ao trabalho de [3], este trabalha com o Nível de estoque e a Demanda de um item como variáveis de entrada mas acrescenta 2 novas saídas além da reposição, são elas: atendimento e licitação. Para cada uma destas saídas as entradas são as mesmas. O método de defuzzificação utilizado foi o Centro de Área (COA) e a função de pertinência triangular da mesma forma que será apresentado neste trabalho, o autor comenta sobre a necessidade de mais testes futuros utilizando outras funções de pertinência e combinações entre elas.

O método proposto em [5] foi aplicado a uma empresa do setor elétrico com objetivo de reduzir os custos com melhor ajuste dos níveis de estoque e disponibilidade dos mesmos. Diferencia dos outros trabalhos por adicionar a Prioridade do item como variável de entrada mas a saída também é a quantidade de itens de uma solicitação de material (reposição). Uma das dificuldades encontrada na realização do trabalho foi a falta de dados históricos liberados pela empresa em questão que só pode disponibilizar um volume menor de dados, apesar de recentes, nesse trabalho utilizaremos dados reais de movimentações de duas empresas de diferentes setores nos últimos 24 meses. A Tabela 2, no final deste artigo, mostra a comparação entre alguns desses trabalhos e os parâmetros utilizados para comparação.

### 3. MÉTODO

Para efetuar a análise dos dados foi utilizada uma biblioteca java de código aberto conhecida como JFuzzyLogic. O motivo da escolha desta biblioteca, em detrimento a outras existentes, se deu ao fato de ser gratuita, de código aberto, constantemente atualizada e uma das poucas que implementa múltiplas formas de defuzzificação como *Center of Gravity*, *Center of Area*, *Smallest of maximum (SOM)*, *Middle of maximum (MOM)* and *Largest of maximum (LOM)* [1].

Como o foco do trabalho é a análise dos dados, esta ferramenta permitiu reduzir o esforço em programação permitindo ao mesmo tempo que seja facilmente reproduzível por trabalhos futuros em outras pesquisas.

Foi utilizado o método COA (*Center of Area*) e os limites apon-tados para cada uma das funções são os mesmos utilizados no

trabalho de [4]. A Tabela 1 mostra as variáveis lingüísticas e os termos lingüísticos utilizados nas variáveis de entrada e saída:

Situação	Variáveis	Universo	Termos
Entrada	Nível de Estoque	[0, 1]	[Baixo,Médio,Alto]
Entrada	Demanda	[0, 0.5]	[Baixa,Média,Alta]
Saída	Reposição	[0, 1]	[Baixa,Média,Alta]

Tabela 1: Variáveis e termos lingüísticos

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

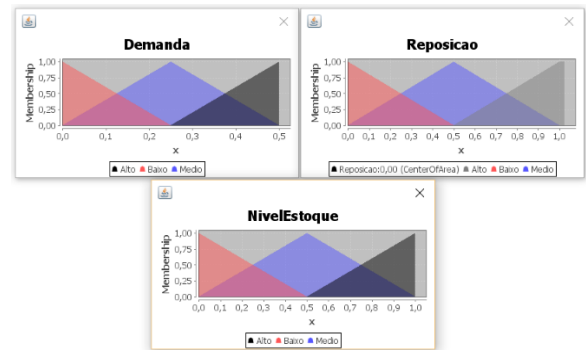


Figura 1: Gráficos da função de pertinência para as estradas(NivelEstoque e Demanda) e a saída(Reposicao).

### 3.1 Base de Dados

Neste trabalho foram utilizados dados reais de 2 empresas (A e B) de segmentos de mercado diferentes, ativas e que utilizam o sistema online do tsEstoque como ferramenta de gerenciamento de estoque. O período de amostragem foi de 2 anos, de 2013 a 2015, e os campos utilizados na análise foram:

- Dia
- Estoque Inicial = Estoque Final do dia anterior
- Entrada (compra) = Quantidade de produto que entrou no estoque no dia
- Consumo (saída/demanda) = Demanda de produtos que saiu do estoque no dia
- Estoque Final = Estoque Inicial - Consumo + Entrada
- EM (Estoque Médio) = Estoque Inicial + Estoque Final / 2

O segmento da empresa A foi "Alimentício" e da empresa B foi "Manutenção Eletrônica". As informações provenientes da base de dados são: a data(dia), total de movimentações de entrada nesta data(compra) e o total de movimentações de saída nesta data(consumo). Com estes dados foi possível efetuar o cálculo do estoque inicial, estoque final e estoque médio (EM).

Foram definidas 9 regras de inferência para o processamento Fuzzy:

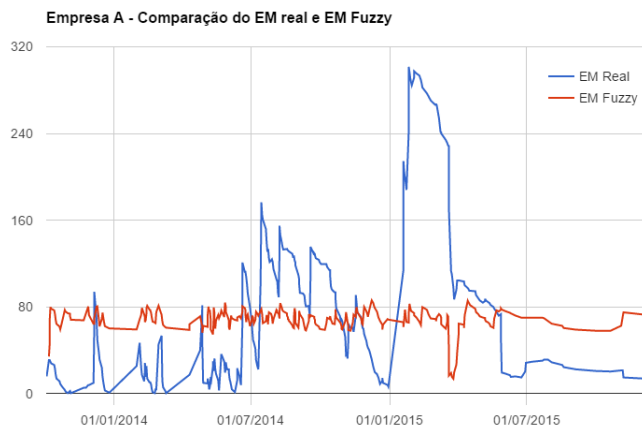
1. IF NivelEstoque IS Baixo AND Demanda IS Baixo THEN Reposicao IS Baixo;

2. IF NivelEstoque IS Baixo AND Demanda IS Medio THEN Reposicao IS Medio;
3. IF NivelEstoque IS Baixo AND Demanda IS Alto THEN Reposicao IS Alto;
4. IF NivelEstoque IS Medio AND Demanda IS Baixo THEN Reposicao IS Baixo;
5. IF NivelEstoque IS Medio AND Demanda IS Medio THEN Reposicao IS Medio;
6. IF NivelEstoque IS Medio AND Demanda IS Alto THEN Reposicao IS Medio;
7. IF NivelEstoque IS Alto AND Demanda IS Baixo THEN Reposicao IS Medio;
8. IF NivelEstoque IS Alto AND Demanda IS Medio THEN Reposicao IS Baixo;
9. IF NivelEstoque IS Alto AND Demanda IS Alto THEN Reposicao IS Alto;

A base de dados e o arquivo FCL(Fuzzy Control Language) utilizados neste estudo encontram-se disponíveis em um repositório público no seguinte endereço:  
<http://bit.ly/DadosEmpresaABEstoque>.

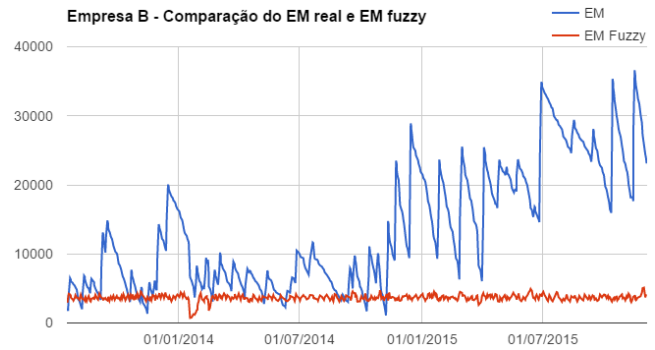
#### 4. RESULTADO

A diferença entre os resultados desse trabalho e o de [4] está nas quantidades de variáveis de entrada utilizadas e o critério de momento de reposição utilizado. Neste estudo o critério foi ajustado manualmente para cada empresa, sendo que para a Empresa A a reposição ocorreu quando o estoque final do dia ficava abaixo de 120 itens e para a Empresa B 2014 itens. Valores abaixo desses limites geraram falta de produtos em estoque e valores mais altos geravam excesso desnecessário de itens. Em [4] foram utilizados dados de "Atendimento" e "Licitação" na entrada, mas como a base de dados das empresas A e B não possuem estas informações, foram desconsideradas da análise.



**Figura 2: Gráfico comparativo do estoque médio real e fuzzy da empresa A.**

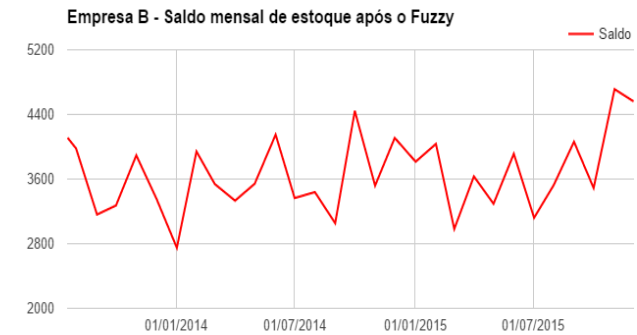
O gráfico da Figura 2 exibe uma linha azul que representa o estoque médio calculado da empresa A e o da Figura 3 o estoque médio da empresa B, com base no comportamento de entradas feitas pelos gestores destas companhias. A linha vermelha diz



**Figura 3: Gráfico comparativo do estoque médio real e fuzzy da empresa B.**

respeito ao processamento que foi feito com Fuzzy e os valores de entradas que foram sugeridos pelo algoritmo. É possível observar que as variações de entrada são muito mais acentuadas nos valores reais do que nos valores fuzzyficados, isto se deve a um comportamento errôneo da parte dos gestores que muitas vezes superdimensionam seus estoque com intuito de evitar a falta de produtos e consequente perda de clientes.

Os valores encontrados pelo processamento Fuzzy indicam que é possível manter uma média de produtos estocados menor durante todo um período, possibilitando menos capital investido em estoques. Como o momento das reposições (ponto de reposição) foram feitas baseados em um valor mínimo para o Estoque Final, toda vez que o algoritmo chega nesse valor mínimo é feita uma reposição (entrada) baseada no valor de reposição encontrado pelo Fuzzy.



**Figura 4: Gráfico de saldo mensal de estoque da empresa B**

No entanto, este comportamento sugerido pela linha vermelha nos gráficos da Figura 2 e Figura 3 não é viável nem adequado no cotidiano de uma empresa, visto que as empresas não repõem seus estoques em intervalos de tempo tão curtos como mostrado no gráfico. Como a compra de itens geralmente é feita através de um contrato com fornecedores e estes efetuam entregas com uma periodicidade um pouco maior, o ideal é que a representação da informação gerada pelo Fuzzy seja mais condizente com a realidade. Para isto, foi feita uma síntese das entradas (soma de todas as compras) Fuzzy com base em intervalos de trinta dias, e este comportamento pode ser visto na Figura 4.

#### 5. CONCLUSÃO

Os resultados das empresas analisadas mostraram que é possí-

vel manter médias de estoques menores sem causar ruptura dos níveis de estoque. Utilizando métodos de previsão de demanda (consumo) é possível antecipar o momento de necessidade de reposição baseado no tempo de entrega dos fornecedores e o estoque de segurança da empresa, diminuindo assim o número de pedidos de reposição. Essas informações não foram aplicadas a análise do estudo mas a aplicação das mesmas é fortemente recomendada já que não utilizá-las acaba gerando múltiplas reposições em um curto período de tempo o que torna-se impraticável e muito custoso para as empresas aplicarem em seus estoques.

Algumas das sugestões para trabalhos futuros envolve a análise de outras variáveis de entrada, a utilização de outros modelos de defuzzificação, a análise de um volume maior de dados, a utilização de critérios como tempo de entrega do fornecedor, estoque de segurança, estoque mínimo, e a adição de mais regras e variáveis linguísticas para o processamento.

- [5] L. G. Silva and A. P. M. Nunes. Análise da utilização da lógica fuzzy no controle de estoque de uma empresa de eletricidade. Centro Universitário do Estado do Pará - CESUPA, 2013.
- [6] L. Werner et al. Previsão de demandas e níveis de estoque: uma abordagem conjunta aplicada ao setor siderúrgico. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 2006.

Parâmetro	Ewbank, H. and Wanke	Gandolfi, A.B. et al.	Santos G.Q., (2011)	Silva L.G. and Nunes	Este artigo
Função	-	Trapezoidal e Triangular	Triangular	Gaussiana e Triangular	Triangular
Defuzzificação	Centro-da-área (COA)	Mínimo dos Máximos (SOM) ou Primeiro Máximo (MPM)	Centro-da-área (COA)	Centro-da-área (COA)	Centro-da-área (COA)
Dataset	Fictício	Fictício	Real	Real	Real
Amostra de Dados	-	12 meses	12 meses	24 meses	24 meses
Nº de Empresas	-	1	1	1	2
Segmentos	-	Indústria de confecção de peças de vestuário	Setor Público Federal	Empresa de Eletricidade	Alimentos e Manutenção eletrônica
Preço Ferramenta (dólar)	250	250	250	250	Gratuito
Código Aberto	Não	Não	Não	Não	Sim

**Tabela 2: Tabela comparativa de trabalhos correlatos**

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] P. Cingolani and J. Alcalá-Fdez. jfuzzylogic: a robust and flexible fuzzy-logic inference system language implementation. In *Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2012 IEEE International Conference on*, pages 1–8. 2012.
- [2] H. Ewbank and P. Wanke. Pontos de pedido fuzzy: Otimizando níveis de estoque por meio de experiência gerencial. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- [3] A. B. Gandolfi et al. Aplicação de uma metodologia de lógica fuzzy à gestão de estoques - um estudo de caso em uma indústria de confecção de peças de vestuário. CCET - UFSC, São Carlos, 2013.
- [4] G. Q. Santos. Aplicação de uma metodologia de lógica fuzzy à gestão de estoques: um estudo de caso em uma instituição pública. Universidade Federal do Pará, 2011.