



INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR

RT-IEN-14/2002

**DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA DE APOIO
A DECISÃO EM PLANEJAMENTO**

por

Antonio Cesar Ferreira Guimarães

Agosto/2002

NOTA
ESTE RELATÓRIO É PARA USO EXCLUSIVO DO
INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR

O direito a utilização de informações relacionadas ao trabalho de pesquisa realizado no IEN é limitado aos servidores da CNEN e pessoal de organizações associadas, nos limites dos termos contratuais que regem os respectivos convênios. O conteúdo dos relatórios não pode ser separado ou copiado sem autorização escrita do IEN



INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR

Título: DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA DE APOIO A DECISÃO EM PLANEJAMENTO

Autor(es): Antonio Cesar Ferreira Guimarães

e-mail: tony@ien.gov.br

Identificação:
RT-IEN-14-2002

Nº de
páginas:
12

Tipo de Divulgação:
Irrestrita (x) Restrita ()

Divulgar para:
IEN

Localização: DIRE/SETER

Publicação externa associada (congresso/periódico):

Pesquisa Operacional, ISSN 0101-7438

Palavras chave:

Aeroporto, Infraero, Lógica Nebulosa, Decisão, Gerenciamento, ANFIS.

Resumo:

Este trabalho consta do desenvolvimento de uma nova metodologia que servirá de apoio a decisão em planejamento estratégico através do uso de um Sistema de Inferências *Fuzzy*. Um sistema de regras *fuzzy* é definido utilizando os dados estimados para a Evolução do Movimento Anual de Passageiros e do Evolução do Movimento Anual de Aeronaves do aeroporto internacional de Guararapes em Fortaleza, Ceará - Brasil. Com os resultados obtidos e a metodologia proposta, os gerentes de projeto e os administradores em aeroportos, podem decidir da melhor maneira possível como e quando se deve fazer investimentos para aquisições de novas aeronaves ou de retirá-las de operação. Espera-se com esta proposta uma modesta contribuição ao processo decisório, pois as decisões podem ser tomadas em tempo hábil para uma melhor eficiência do desempenho administrativo.

Abstract:

This work consists of the development of a new methodology that will serve as support the decision in strategic planning through the use of a Fuzzy Inference System. A system of fuzzy rules is defined using the data esteemed for the Evolution of the Annual Movement of Passengers and of the Evolution of the Annual Movement of Airships of the international airport of Guararapes in Fortaleza, Ceará – Brazil. With the obtained results and the methodology proposal, the project managers and the administrators in airports can decide in the best possible way as and when should make investments for acquisitions of new airships or of removing them of operation. It is waited with this proposal a modest contribution to the decision process, because the decisions can be made in skilled time for a better efficiency of the administrative acting.

Emissão		Nome	Rubrica	Data
Data: 20/08/2002	Divisão:DIRE Serviço:SETER	Elaboração: Antonio C F Guimarães		20/08/2002
		Revisão: Orlando J. Agostinho G. Filho		20/08/2002
		Aprovação : Orlando J. Agostinho G. Filho		20/08/2002

Instituto de Engenharia Nuclear:

Via 5 s/n, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, CEP 21945-970, CP 68.550, Rio de Janeiro – RJ – Brasil .

Tel.: 00 55 21 2560-4113

Internet: www.ien.gov.br

1. INTRODUÇÃO

A estimativa da evolução do movimento anual de passageiros como função da evolução do movimento anual de aeronaves permite conclusões e decisões importantes por quem tem o poder decisório e não possui uma previsão ou estimativa de como isto pode ocorrer a não ser por intuição. Com o uso de um Sistema de Inferências Fuzzy, a representação destas informações em pares de entradas e saída e um conjunto de regras que combine de forma lógica com ligações do tipo AND/OR e outras características do processo de inferência, definidas através de um método do tipo Mamdani, obtém-se uma superfície de resultados e um mecanismo de controle *fuzzy*. Para desenvolver a metodologia deste trabalho, boa parte do conhecimento é baseado em dados observados que é tratada pelo especialista em forma de estimativas representadas graficamente. Decisões importantes, tomadas por especialista, podem ser auxiliadas com a metodologia proposta neste trabalho, onde por exemplo, a definição do momento ideal para se fazer novas aquisições de aeronaves em função da demanda de passageiros, de forma planejada, seria uma das alternativas possíveis. Para tal, os princípios da lógica fuzzy, estabelecida por Zadeh [1] e Earl Cox [2] foram utilizados. O modelo de Mamdani para inferência fuzzy também é o adotado para o mecanismo adaptativo [3].

No item 2, são apresentadas informações referentes ao aeroporto utilizado como fonte de referências para o estudo e aplicação. No item 3, a descrição do Sistema de Regras Fuzzy utilizado para este trabalho. No item 4, a aplicação do exemplo envolvendo o aeroporto de Guararapes e o Sistema de Regras Fuzzy definido. No item 5, são apresentados os resultados obtidos com a metodologia proposta, e no item 6 as conclusões finais do trabalho desenvolvido.

2. DADOS DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE GUARARAPES

As informações contidas neste item 2, foram obtidas à partir da página na Internet da INFRAERO. Outras informações, como a História do aeroporto, podem ser encontradas descritas em detalhes, no endereço eletrônico da empresa.

2.1 - Programa de Modernização

Pista de pouso e decolagem (1ª FASE) - Ampliação da pista de pouso em 300 m
Objetivo: Atender vôos charter's e cargo em travessias transatlânticas. *obra concluída*

Ampliação do pátio de aeronaves (2ª FASE)

Objetivo: Aumentar a capacidade de estacionamento de aeronaves em hora de pico, readequando a sua geometria para grandes aeronaves. *obra concluída*

Terminal de passageiros (3ª FASE - 3 etapas) - Construção do novo terminal de passageiros

Objetivo: Prover o SBRF com infra-estrutura, dimensões e serviços compatíveis com a demanda (*observada e projetada*).

Edifício garagem - Construção do edifício garagem para 2000 vagas

Objetivo: Suprir as deficiências de ofertas de vagas e resolver problemas de acessibilidade hoje observados.

Sistema Viário de Acesso - Construção de viadutos, alças e vias internas de acesso ao TPS e Edifício Garagem.

Objetivo: Eliminar os problemas de acesso à área terminal de fluxos de veículos originados de Boa Viagem e Centro.

2.2 - Nova Autonomia

Nova Autonomia Oferecida - 9.479 Km

Antiga Autonomia Oferecida - 8.473 Km

Devido a expansão da pista do Aeroporto Internacional Guararapes em 300 metros, a área de autonomia de vôo, antes restrita a 8.473 km, passa a ser de 9.479 km. Essa nova área abrange as principais cidades do Canadá, Europa Central e quase a totalidade da África.

2.3 - Benefícios

Com melhores condições de receber linhas internacionais, Pernambuco ganha maior força para o Turismo. Com uma mentalidade moderna, voltada para a nova realidade, o Governo de Pernambuco vem investindo para aproveitar ao máximo a privilegiada localização geográfica do Estado, agregando uma infra-estrutura de peso, que permite aos investidores obter consideráveis vantagens competitivas ao se instalarem no Estado. O recente trabalho realizado no Aeroporto Internacional Guararapes, que ampliou sua capacidade operacional permitindo a agilização do processo de distribuição das empresas e diminuição dos custos operacionais, é mais um exemplo de que, quando se une às vantagens naturais, uma política de incentivos e investimentos em infra-estrutura, novos negócios são atraídos, fomentando a economia e agilizando o programa de desenvolvimento regional.

Localização estratégica

O Aeroporto Internacional Guararapes se diferencia dos demais aeroportos brasileiros por sua privilegiada localização: fica na zona urbana da capital pernambucana e a 35 km do Complexo Portuário e Industrial de Suape. O Recife, por sua vez, também desfruta de todos os benefícios de possuir uma localização estratégica. Partindo-se da capital pernambucana, num raio de 300 km, é possível alcançar quatro capitais nordestinas, que concentram um mercado potencial de 6 milhões de consumidores. O Recife está situado a 800km das outras duas maiores capitais da Região, Salvador e Fortaleza. A cidade também está próxima da Europa e dos Estados Unidos do que a maioria das capitais brasileiras, o que facilita o escoamento da produção para mercados internacionais, como a União Européia e o Nafta.

Distâncias aéreas entre o Recife e as capitais do Nordeste (Milhas)

João Pessoa	109,27
Maceió	181,50
Natal	250,02
Aracajú	396,33
Fortaleza	624,12
Salvador	648,20
Teresina	907,48
São Luís	1.196,39

A maior pista de pouso do Nordeste

As obras de ampliação da pista do Aeroporto Internacional Guararapes já foram concluídas. Hoje, com 3.305 metros de comprimento, a maior pista do Nordeste permite a decolagem de aeronaves do tipo B747, DC-10 e MD-11, sem restrições de carga e limitação de combustível, o que permite a otimização do transporte aéreo e aumenta a autonomia dos aviões, que podem atingir, sem a necessidade de escalas, novos mercados na Europa, América do Norte e Mercosul. Com esta obra, além de passar a ter a maior capacidade de operações de carga da região, Pernambuco ganha uma força a mais para o turismo, com a possibilidade de ampliação das suas linhas diretas internacionais, que hoje já operam para Lisboa, Porto, Amsterdã, Londres, Bruxelas, Frankfurt, Miami, Milão, Roma e Buenos Aires. Além dos benefícios da ampliação da pista principal, a construção de uma pista auxiliar vem sendo projetada por técnicos da Infraero e da Aeronáutica. Este projeto é de fundamental importância para que as operações de pouso e decolagem não sejam prejudicadas no caso de haver, por algum motivo, obstrução da pista principal.

Mais infra estrutura para Pernambuco

AEROPORTO

INTERNACIONAL

GUARARAPES

	ANTES	DEPOIS
Comprimento da pista*	3.000m	3.305m
Capacidade do pátio das aeronaves*	14 aeronaves	26 aeronaves
Capacidade de atendimento a passageiros	1,5 milhão/ano	5 milhões/ano
Número de pontes de embarque (fingers)		11
Check-in	24	64
Atendimento simultâneo	250 passageiros	1.500 passageiros
Estacionamento para veículos	500 carros	2 mil carros
Acesso viário	1 via	1 binário
Acesso ao Metrô	-	1 passarela rolante

*Obra concluída

As obras de modernização do Aeroporto Internacional Guararapes estão previstas para serem concluídas em 2002.

2.3 - IMPACTO

Capacidade para 5 milhões de pessoas/ano.

O novo terminal de passageiros do Aeroporto Internacional Guararapes possuirá sistemas de ar condicionado, iluminação e esgoto automatizados; com o objetivo de proporcionar maior

conforto e segurança aos passageiros. O terminal terá ainda, 64 balcões de atendimento informatizados, além de amplas salas de embarque com capacidade para até 5.000 passageiros; nos horários de maior movimento.

Capacidade para 26 aeronaves simultaneamente

O novo pátio para estacionamento de aeronaves, que integra o projeto de modernização do aeroporto, já está operando em uma área ampliada em 42 mil m². Agora, 26 aeronaves podem estacionar simultaneamente - 70% acima da área reservada anteriormente para estacionamento de aeronaves. Todo este avanço está sendo possível graças a um convênio entre o Governo do Estado de Pernambuco e a INFRAERO/EMBRATUR, dentro do programa PRODETUR I, através do qual já foram investidos R\$5.8 milhões para ampliação do pátio, R\$4.5 milhões para ampliação da pista e cerca de R\$10.5 milhões para obras complementares. O acesso às aeronaves será através de conector e 11 pontes de embarque (*fingers*).

Maior capacidade de operações de carga da região

Com esta obra, além de passar a ter a maior capacidade de operações de carga da região, Pernambuco ganha uma força a mais para o turismo, com a possibilidade de ampliação das suas linhas diretas internacionais, que hoje já operam para Lisboa, Porto, Amsterdã, Londres, Bruxelas, Frankfurt, Miami, Milão, Roma e Buenos Aires.

3. SISTEMA DE INFERÊNCIAS FUZZY ADAPTATIVO

Um sistema de inferência *fuzzy* neural adaptativo (ANFIS – *Adaptive Neural Fuzzy Inference System*) é um sistema de inferência *fuzzy* (FIS – *Fuzzy Inference System*) que pode ser treinado com um algoritmo de backpropagação para modelar um conjunto de dados entrada/saída [3]. O sistema permitindo adaptação contempla o sistema *fuzzy* com a habilidade de aprender inter-relações embutidas nas entrada/saída dos dados utilizados.

A estrutura de rede da ANFIS facilita o processo de computação do vetor gradiente que relaciona a redução de uma função erro para uma modificação nos parâmetros de uma FIS. Assim que o vetor gradiente é obtido, um número de rotinas de otimização podem ser aplicadas para reduzir o erro entre a saída real e a obtida. Na literatura de redes neurais, isto é conhecido com aprender com o exemplo.

O sistema de lógica *fuzzy* puro é aquele onde uma base de regras *fuzzy* é constituída de uma coleção de regras do tipo **IF-THEN**, e o mecanismo de inferência *fuzzy* utiliza estas regras **IF-THEN** para determinar um mapeamento dos conjuntos *fuzzy* do universo de discurso de entrada $U \subset \mathbb{R}^n$ ao conjunto *fuzzy* do universo de discurso de saída $V \subset \mathbb{R}$ baseado nos princípios da lógica *fuzzy*. As regras *fuzzy* do tipo **IF-THEN** são da seguinte forma:

$$R^{(l)} : \text{IF } x_1 \text{ is } F_1^l \text{ e } \dots \text{ e } x_n \text{ é } F_n^l, \text{ THEN } y \text{ é } G^l$$

Onde,

F_i^l e G^l são conjuntos *fuzzy*, $x = (x_1, \dots, x_n)^T \in U$ e $y \in V$ são variáveis de entradas e saídas linguísticas, respectivamente, e $l = 1, 2, \dots, M$.

De forma a se utilizar este tipo de sistema fuzzy em sistemas de engenharia onde entradas e saídas são variáveis com números reais, foi preciso adicionar na entrada e na saída do sistema um mecanismo que permitisse a utilização de números reais.

Este tipo de sistema fuzzy ao fazer uso de um sistema puro de lógica fuzzy, introduziu a idéia de um “fuzificador” na entrada com os números reais, e um “defuzificador” na saída. A Figura 1, apresenta de forma esquemática o modelo. O “fuzificador” mapea pontos discretos (*crisps*) em conjuntos fuzzy, e o “defuzificador” mapea conjuntos fuzzy em pontos discretos (*crisps*). A base de regras fuzzy e o mecanismo de inferência são os mesmos que os do sistema puro de lógica fuzzy. Na literatura, este sistema de lógica fuzzy é conhecido como controlador de lógica fuzzy. Primeiramente, foi proposto por Mamdani [4], e tem sido utilizado extensivamente em diversas aplicações industriais e comerciais.

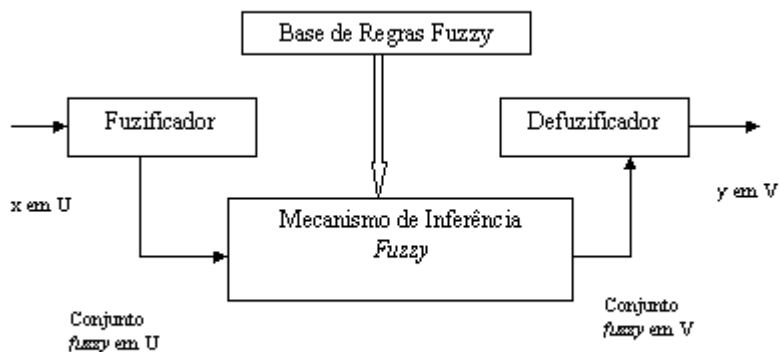


Figura 1 – Configuração básica do sistema de lógica fuzzy com o “fuzificador” e o “defuzificador”.

4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

O Aeroporto Internacional de Guararapes foi adotado como referência de dados para demonstração da metodologia proposta neste trabalho. Os dados observáveis foram retirados das Figuras 2 e 3 apresentadas a seguir. A Figura 2, apresenta a projeção da evolução do movimento anual de passageiros (EMAP) e a Figura 3, a projeção da evolução do movimento anual de aeronaves (EMAA). O período de tempo de projeção dos valores de EMAP e AMAA ficou entre 1977 e 2017.

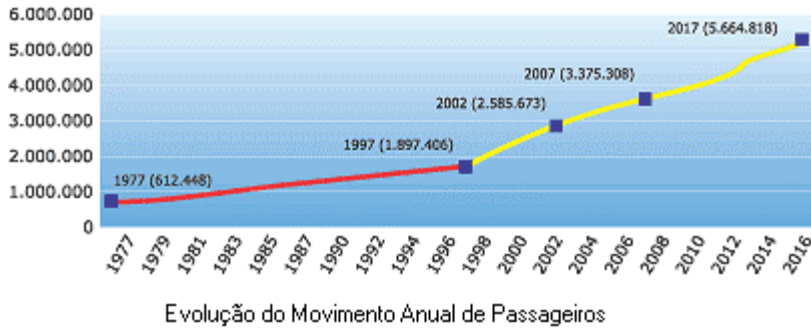


Figura 2 – EMAP (fonte: INFRAERO)

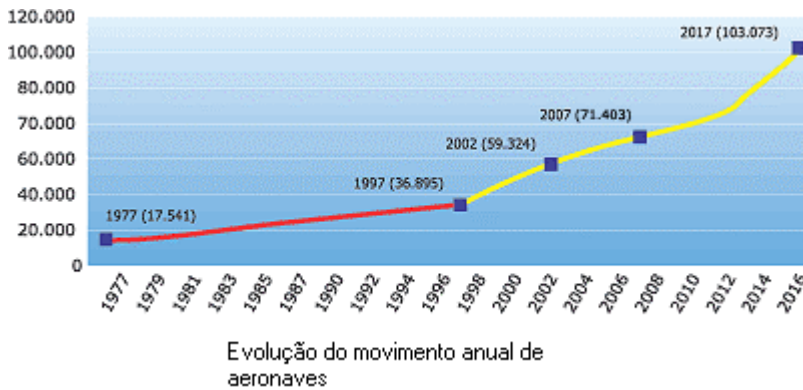


Figura 3 – EMAA (fonte: INFRAERO)

Repare que nas Figuras 2 e 3, o intervalo de valores da EMAP está entre 612.448 (1977) e 5.664.818 (2017), e para a EMAA está entre 17.541 (1977) e 103.073 (2017). Estes valores são utilizados para dimensionar as variáveis do universo de discurso do sistema *fuzzy*. Foram consideradas duas variáveis de entrada, a EMAP e o tempo, e uma variável de saída, a EMAA. O *fuzzy* toolbox do MATLAB6 [5], foi empregado para representação do problema.

As Figuras 4 e 5, apresentam as funções de pertencimento (*membership functions*) para cada variável de entrada. Na Figura 4, pode-se observar as 3 funções de pertencimento definidas para EMAP. Na Figura 5, também foram definidas apenas 3 funções de pertencimento para variável Tempo.

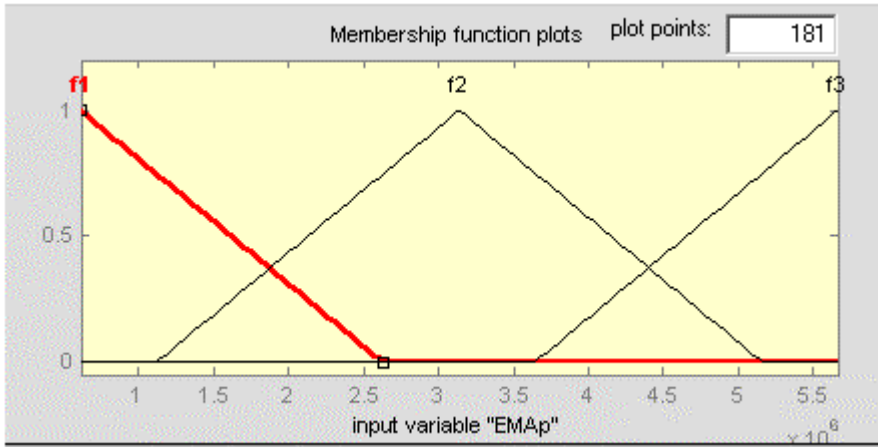


Figura 4 – Variável de entrada EMAP.

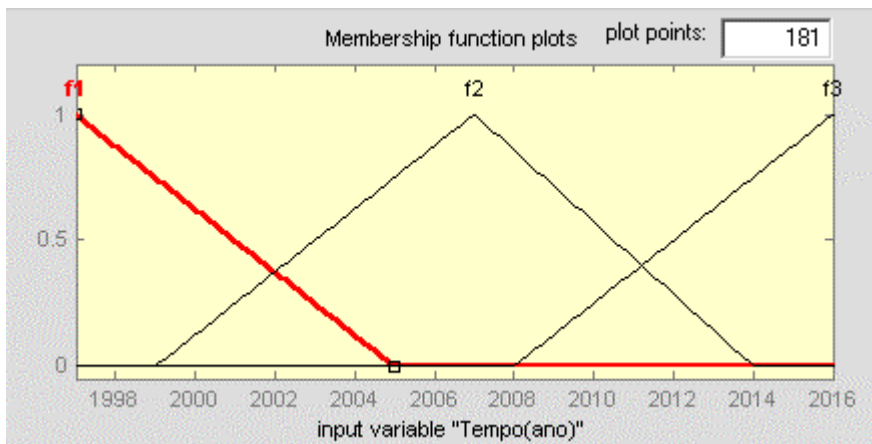


Figura 5 – Variável de entrada Tempo (ano)

Na Figura 6, as funções de pertencimento foram apresentadas e mantidas também apenas 3 funções, para facilitar a definição do conjunto reduzido de regras.

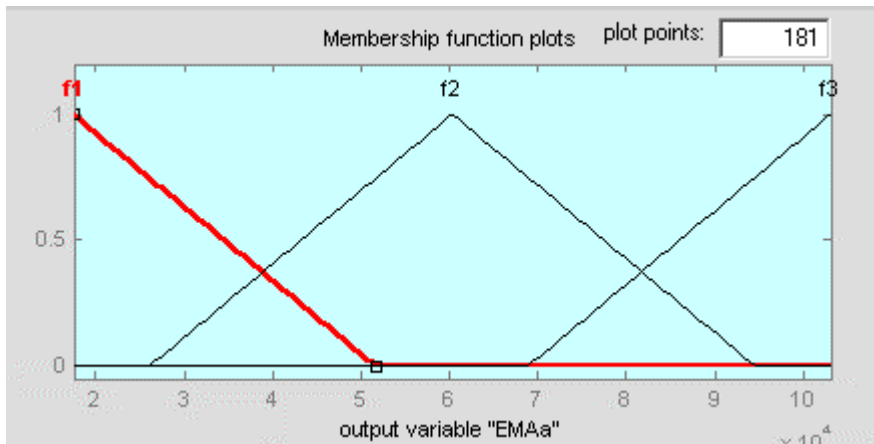


Figura 6 – Variável de saída EMAA

Na Figura 7, foram apresentadas o conjunto de regras definidas para este exemplo. Um número de 12 regras são suficientes para representar as possibilidades de ocorrências no problema.

1. If (EMAp is f1) and (Tempo(ano) is f1) then (EMAA is f1) (1)
2. If (EMAp is f2) and (Tempo(ano) is f2) then (EMAA is f2) (1)
3. If (EMAp is f3) and (Tempo(ano) is f3) then (EMAA is f3) (1)
4. If (Tempo(ano) is f1) then (EMAA is f1) (1)
5. If (Tempo(ano) is f2) then (EMAA is f1) (1)
6. If (Tempo(ano) is f3) then (EMAA is f1) (1)
7. If (EMAp is f1) then (EMAA is f1) (1)
8. If (EMAp is f2) then (EMAA is f2) (1)
9. If (EMAp is f3) then (EMAA is f3) (1)
10. If (EMAp is f1) and (Tempo(ano) is f1) then (EMAA is f1) (1)
11. If (EMAp is f1) and (Tempo(ano) is f2) then (EMAA is f1) (1)
12. If (EMAp is f1) and (Tempo(ano) is f3) then (EMAA is f1) (1)

Figura 7 - O conjunto de regras do sistema fuzzy.

As regras de número 1, 2 e 3, representam a evolução natural estimada do movimento anual de passageiros e de aeronaves de forma crescente com o tempo, apresentados na Figura 2 e 3. Para as regras de número 4, 5, e 6, o tempo evolui e movimento de passageiros se mantém ou não, o número de aeronaves é estável em operação. Para as regras de número 7, 8, e 9, o raciocínio foi o de aumentar a demanda de aeronaves em função do aumento do número de passageiros, para um período de tempo qualquer. Já, para as regras de número 10, 11, e 12, o raciocínio foi o de manter o mesmo número de aeronaves, não fazer nenhuma aquisição nova, tendo em vista que ao longo do tempo o número de passageiros se manteve inalterado, criando com isso um perspectiva de redução em número de aeronaves.

No item 5, é apresentado o resultado obtido com as configurações anteriormente definidas para a base de conhecimento.

5. RESULTADOS

O resultado final foi apresentado em forma gráfica e pode ser visto na Figura 8, que representa a superfície gerada utilizando as duas variáveis de entrada, EMAp e o Tempo, e a de saída, a EMAa.

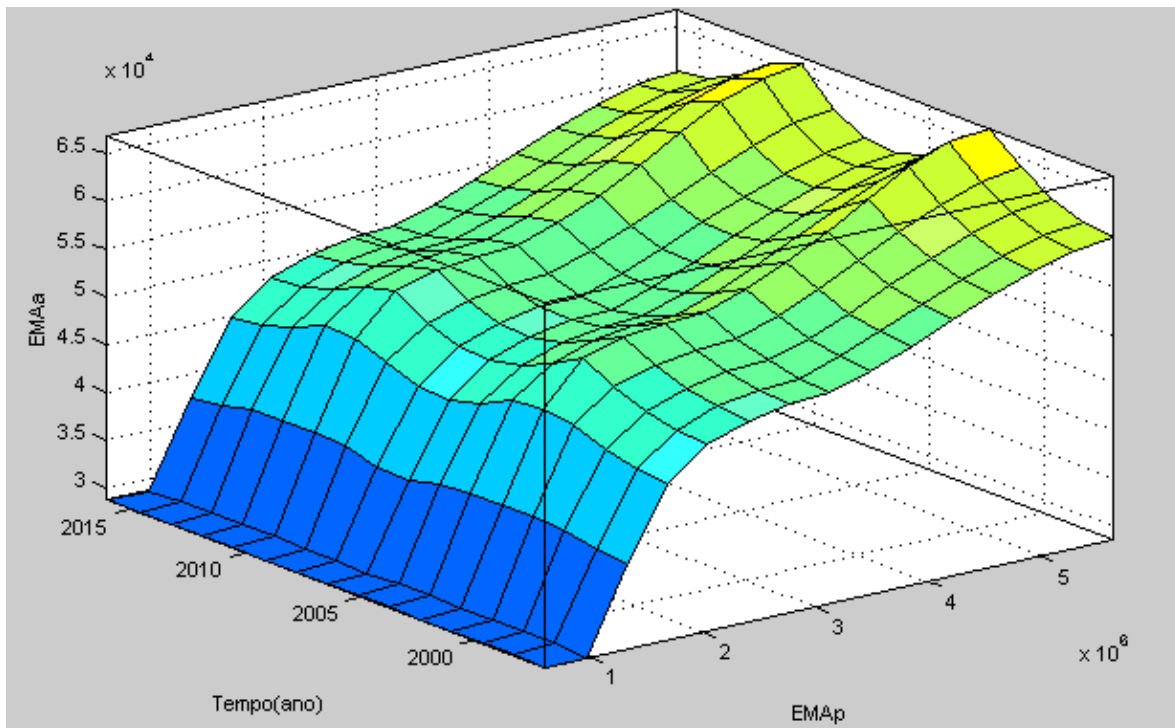


Figura 8 – Superfície gerada com os resultados de EMAp, EMAa e tempo.

6. CONCLUSÕES

O trabalho apresentado neste artigo foi o desenvolvimento de uma metodologia de apoio a decisão em planejamento utilizando um Sistema de Inferência fuzzy adaptativo do tipo Mamdani.

A utilização de um conjunto de dados estimados observáveis, permitiram a representação do problema em forma gráfica de superfície, auxiliando administradores e gerentes na obtenção de novos resultados sem a necessidade de cálculos matemáticos ou estimativas com grandes incertezas.

Com a metodologia proposta e os recursos disponíveis no ambiente de programação, verifica-se rapidamente a sensibilidade em uma ou em outra variável de entrada separadamente, ou em conjunto, e o resultado produzido na variável de saída, sem a necessidade de novos cálculos. Isto vem a ser de real importância para casos onde decisões precisam ser reavaliadas e novas decisões tomadas em um espaço de tempo curto.

Outro fator importante é a facilidade com que especialista pode lidar com o sistema de regras, modificando uma ou outra, caso deseje inferir algum raciocínio novo, para refletir modificações gerenciais.

A Figura 8, nos mostra uma situação interessante. Com o aumento de população de passageiros, observa-se uma significativa instabilidade do número de aviões, necessário ao tráfego econômico. Foram feitas várias alterações nos parâmetro *fuzzy* com relação a este fenômeno e a instabilidade foi sempre apresentada. Este item deveria ser estudado em maior profundidade, pois o presente método foi explicito nesta informação.

Finalmente, acredita-se que o “Sistema de Inferência Fuzzy Adaptativo”, seja de real importância para modelagem de apoio a decisão em planejamento.

7. REFERÊNCIAS

[1] Zadeh, L., Fuzzy Sets and Systems, Proc. Symp. Syst. Theory, Polytechnic Institute, Brooklyn, pp 29-37, NY, 1965.

[2] Cox, E., “The Fuzzy Systems – Handbook”, AP professional, 1994.

[3] Hines, J.W., Wreath, D.J., Uhrig, R.E, Signal Validation using an Adaptive Neural Fuzzy Inference System, NUCLEAR TECHNOLOGY, VOL. 119, August 1997.

[4] Wang, Li-Xin, ADAPTIVE FUZZY SYSTEMS AND CONTROL – DESIGN AND STABILITY ANALYSIS, University of California at Berkeley. PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, November 1993.

[5] Manual do Fuzzy Toolbox do MatLab6.