

GLAUCO BENINE FERREIRA

AUXÍLIO A TOMADA DE DECISÃO NA INCLUSÃO DE
SOBRESSALENTE DE MANUTENÇÃO EM ESTOQUE UTILIZANDO
UM SISTEMA ESPECIALISTA FUZZY

Trabalho de Graduação apresentado
ao Conselho de Curso de Graduação
em Engenharia de Produção
Mecânica da Faculdade de
Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade
Estadual Paulista, como parte dos
requisitos para obtenção do diploma
de Graduação em Engenharia de
Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Valério Antônio Pamplona Salomon

Guaratinguetá
2011

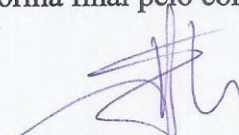
F383a	Ferreira, Glauco Benine Auxílio a tomada de decisão na inclusão de sobressalentes de manutenção em estoque utilizando um sistema especialista fuzzy / Glauco Benine Ferreira – Guaratinguetá : [s.n], 2011. 55 f : il. Bibliografia: f. 49-51 Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011. Orientador: Prof. Dr. Valério Antônio Pamplona Salomon 1. Controle de estoque 2. Processo decisório I. Título CDU 658.78
-------	---

AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO NA INCLUSÃO DE
SOBRESSALENTE DE MANUTENÇÃO EM ESTOQUE UTILIZANDO UM
SISTEMA ESPECIALISTA FUZZY

Glauco Benine Ferreira

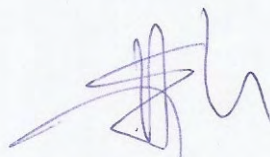
Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do título de
Graduado em Engenharia de Produção Mecânica

Aprovado em sua forma final pelo conselho de curso de graduação

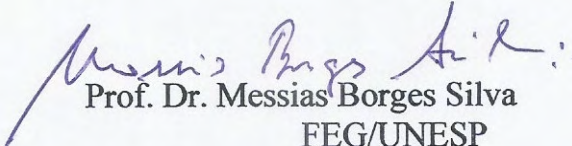


Prof. Dr. Valério A. P. Salomon
Sub-coordenador
No Exercício da coordenação

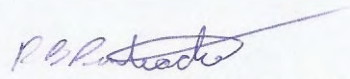
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Valério Antônio Pamplona Salomon
FEG/UNESP (Orientador)



Prof. Dr. Messias Borges Silva
FEG/UNESP



Prof. Ricardo Batista Penteado
FEG/UNESP

Novembro de 2011

DADOS CURRICULARES

GLAUCO BENINE FERREIRA

NASCIMENTO	13.11.1986– SÃO JOSÉ DOS CAMPOS/SP
FILIAÇÃO	Sérgio Ferreira Dirce Benine Ferreira
2006/2011	Curso de Graduação Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Dedico este trabalho aos meus pais e irmãos, além dos amigos que estiveram sempre por perto me dando apoio para a conclusão desta etapa tão importante em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial ao professor Dr. Valério Antônio Pamplona Salomon por dedicar seu tempo e aceitar meu convite em orientar este trabalho.

Ao Engenheiro José Francisco Rosas Neto com quem tanto aprendi neste período de estágio.

Um agradecimento ao meu amigo Leandro Augusto (Piu) que sempre que pode me incentivou em terminar este trabalho e sempre me ajudou quando preciso durante este último ano de faculdade.

Ao meu grande amigo Giovani que me auxiliou na modelagem deste trabalho.

Por fim todos aqueles que de forma direta ou indireta participaram da minha vida neste último ano de universidade.

“O que somos hoje e o que seremos amanhã depende de nossos pensamentos. Se procedo mal, sofro as consequências, se procedo bem, eu mesmo me purifico”

Buda

RESUMO

No cenário econômico mundial de constantes mudanças as indústrias buscam aumentar sua lucratividade diminuindo valores de inventários. A manutenção e a gestão da manutenção, aliadas ao gerenciamento de estoques de sobressalentes, assumiram uma posição de vantagem competitiva nas empresas. Estocar somente o necessário tem se tornado uma decisão difícil para os gestores, os quais se deparam com a falta de modelos e critérios que auxiliem esta tomada de decisão. Este trabalho propõe um método que auxilia a tomada de decisão, com uma modelagem em ambiente MATLAB, por meio de critérios estabelecidos por um especialista junto ao seu time de operadores de manutenção, tendo como foco sobressalentes de demanda irregulares. O modelo proposto se mostrou adequado atendendo às necessidades da empresa e do gestor de manutenção na decisão relativa à estocagem.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de Estoques, Gestão da Manutenção, Tomada de Decisão.

ABSTRACT

In the current economic scenario of constant changes, industries seek to increase their profitability decreasing inventory levels. Maintenance and maintenance management, combined with the inventory management of spare parts, has assumed a position of competitive advantage in business. Stock only what you need has become a difficult decision for managers, who are faced with the lack of models and criteria to assist this decision-making. This work proposes a method which supports decision making, on a MATLAB modeling, using criteria established by an expert and his maintenance workers team, focusing on no regular demand of spare parts. The proposed model was adequate to the needs of the company and the maintenance manager in the decision on the storage.

KEY WORDS: Inventory Management, Maintenance Management, decision making,

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Percepção humana acrescida ao modelo matemático de previsão de vendas/consumo.

FIGURA 2 – Representação da lógica tradicional.

FIGURA 3 – Representação de um conjunto *fuzzy*.

FIGURA 4 – Função de pertinência Triangular e Trapezoidal.

FIGURA 5 – Operador E.

FIGURA 6 – Operador OU.

FIGURA 7 – Operador NÃO.

FIGURA 8 – Diagrama de blocos da arquitetura de um controlador *fuzzy*.

FIGURA 9 – Método de Inferência Mamdani.

FIGURA 10 – Defuzzificação pelo método do Centro de Área.

FIGURA 11 – Conjunto difuso da Criticidade do Equipamento.

FIGURA 12 – Conjunto difuso *lead time*.

FIGURA 13 – Conjunto difuso Possibilidade de Falha.

FIGURA 14 – Conjunto difuso de Saída..

FIGURA 15 – Entradas, máquina de inferência e saídas do MATLAB.

FIGURA 16 – Caso 1.

FIGURA 17 – Caso 2.

FIGURA 18 – Caso 3.

FIGURA 19 – Caso 4.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Fatores que identificam a criticidade do equipamento.

TABELA 2 – Referência de criticidade adotada.

TABELA 3 – Conjuntos de Regras determinados pelo especialista.

TABELA 4 – Exemplos utilizando modelo proposto.

LISTA DE ABREVIATURAS

TBM – Time Based Maintenance .

MBT – Manutenção Baseada no Tempo.

JIT – Just in time.

AMT – Advanced Manufacturing Technologies.

TPM – Total Productive Maintenance.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Definição do Problema	13
1.2 Objetivos	14
1.3 Justificativa	15
1.4 Estrutura do Trabalho	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 Manutenção	16
2.1.1 Manutenção Preditiva	16
2.1.2 Manutenção Preventiva	17
2.1.3 Manutenção Corretiva	17
2.2 Gestão de Estoques	17
2.2.1 Gestão de Estoques de Sobressalente de Manutenção	18
2.2.2 Percepção Humana e Previsibilidade de Sobressalentes	20
2.3 Introdução a Lógica <i>Fuzzy</i>	21
2.3.1 Conjuntos <i>Fuzzy</i>	23
2.3.1.1 Funções de Pertinência	24
2.3.1.2 Operadores <i>Fuzzy</i>	25
2.3.2 Modelo de Inferência Mamdani	26
2.3.3 Método de Defuzzificação	28
2.4 Sistema Especialista <i>Fuzzy</i>	30
3. APLICAÇÃO DO SISTEMA ESPECIALISTA <i>FUZZY</i>	31

3.1 Método de Pesquisa	31
3.1.1 Pesquisa Empírica Quantitativa	31
3.1.2 Modelos Estocásticos ou Probabilísticos	31
3.2 A Empresa	32
3.3 Sistema Atual	32
3.4 Proposição do Modelo	33
3.4.1 Levantamento dos Critérios	34
3.4.2 Conjuntos Difusos	35
3.4.2.1 Criticidade do Equipamento	35
3.4.2.2 Cálculo da Criticidade	36
3.4.2.3 Lead Time	39
3.4.2.4 Possibilidade de Falha	40
3.4.3 Estabelecimento de Regras	41
3.5 Modelagem no MATLAB	42
3.6 Exemplos Reais	44
4. CONCLUSÕES	47
4.1 Considerações Gerais	47
4.2 Trabalhos Futuros	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXO I	52

1. INTRODUÇÃO

1.1 Definição do Problema

O cenário econômico brasileiro e mundial tem se adaptado com as novas demandas de bens e serviços ao longo dos últimos anos. Segundo Mazzali & Milan (2006), o acirramento da competitividade industrial frente a crescente exigência da melhoria na prestação de serviços fez com que a manutenção industrial passasse a ser enxergada como parte de um gerenciamento estratégico para o melhor atendimento deste novo mercado mais exigente.

Os estudos para o gerenciamento de estoques de peças sobressalentes não são recentes, e tem surtido efeitos significativos para compreender o impacto que estes inventários tem sobre as empresas (LIMA, 2006)

Um fato observado por Huiskonen (2001) é que os modelos de gerenciamentos gerais de estoque não levam em considerações algumas características peculiares destes materiais, como o elevado custo de aquisição de itens unitários, o baixo giro de consumo e a demanda flutuante, ou seja, a demanda não regular destes itens. Botter & Fortuin (2000) afirmam também que a gestão tradicional de estoques não são adequadas pois o padrão de consumo dos itens ocorre de forma irregular.

O Brasil ao longo dos último anos tem elevado suas taxas básicas de juros a fim de conter a inflação. Contudo, este tipo de comportamento acaba gerando uma desvantagem competitiva do país frente ao cenário mundial onde as taxas de juros são menores. Juros altos significam elevado custo de estoque, ativos estagnados, o que diminui a lucratividade das empresas (LIMA, 2006).

Partindo desta dicotomia do gerenciamento de inventários de estoques sem modelos que consideram a sua falta de previsibilidade ou demanda flutuante, aliada a busca continua para o pronto atendimento do cliente em busca da elevação do nível de

serviço, o presente trabalho busca alinhar esse pontos propondo um modelo que auxilie no momento de tomada de decisão no que diz respeito a inclusão de itens sobressalentes de manutenção em estoque.

Este modelo tem como plano de fundo a estocagem de itens realmente necessários, capazes de atender manutenções não programadas e evitando assim as paradas de máquinas dos sites industriais, uma vez que estas paradas podem gerar a ruptura do abastecimento no mercado consumidor, criando assim oportunidade para que os clientes busquem os produtos da empresa concorrente.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é propor um modelo que auxilie na tomada de decisão na inclusão de sobressalentes de manutenção em estoque.

Com esse modelo pretende-se estocar itens que se mostrem realmente necessários de acordo com os critérios estabelecidos pelos gestores da manutenção.

Entre os objetivos específicos destacam-se:

1. Identificar os critérios relevantes no momento de tomar a decisão para inclusão do sobressalente em estoque;
2. Desenhar conjuntos difusos dos critérios identificados como relevantes;
3. Acrescentar o conhecimento de um especialista nas delimitações dos conjuntos difusos;
4. Modelar os conjuntos difusos em ambiente MATLAB validando então o método de auxílio a tomada de decisão.

1.3 Justificativa

Elevados valores em inventário, segundo Slack et al. (2002), representam um elevado custo de oportunidade. Contudo a falta de sobressalentes de manutenção em estoque podem ocasionar o não atendimento de manutenções emergenciais e logo uma parada na produção .

Este período de *down time* pode gerar um desabastecimento de mercado e por consequência uma oportunidade para os consumidores explorarem os produtos da concorrência.

Para evitar tal parada de produção e atender prontamente manutenções emergenciais, faz-se necessário o desenvolvimento de uma ferramenta com critérios significativos que auxilie na decisão quanto à inclusão de sobressalentes de manutenção em estoque. Ao se manter em estoque somente itens realmente necessários, ou seja, estocar itens que podem ter uma falha não programada, causadores de longos períodos de *down time*, evita-se o acúmulo financeiro imobilizado em ativos de manutenção causadores de custos de oportunidade.

1.4 Estrutura da Trabalho

Este trabalho está estruturado em 4 Capítulos. Este sendo o primeiro capítulo, onde é apresentada uma contextualização do cenário em que se enquadra a manutenção e os inventários de estoques. Posteriormente, no Capítulo 2, foi feito um referencial teórico sobre a abordagem do tema de auxílio à tomada de decisão junto ao método do Sistema Especialista *Fuzzy* . A descrição das atividades estão no terceiro capítulo. Conclusões são apresentadas no quarto capítulo, e por fim estão citadas as referências utilizadas para este trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Manutenção

A manutenção tem se tornado uma função estratégica dentro das organizações, pois o seu desempenho afeta diretamente o desempenho da produção. Ela deve garantir a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos com segurança e custos apropriados. Aplicar cada tipo de manutenção adequadamente é fator de otimização da atividade e lucro ou sobrevivência para a organização (KARDEC; NASCIF, 2007)

Para Pinto & Xavier (2001) a manutenção existe para que não haja manutenção, e as falhas são evitadas e não simplesmente corrigidas. Completam ainda que a organização da manutenção deve ser de maneira que o equipamento só pare de produzir de forma planejada.

A manutenção pode ser classificada em 3 tipos: preditiva, preventiva e corretiva.

2.1.1 Manutenção Preditiva

É um conjunto de atividades de acompanhamento com base na modificação de parâmetro de condição ou desempenho. A vida útil do equipamento é acompanhada efetuando-se medições periódicas, leitura e inspeções. A vantagem da Manutenção Preditiva está em se ter o máximo aproveitamento da vida útil das peças, onde a reforma pode ser programada e a substituição somente dos itens comprometidos. A intervenção no equipamento como um todo é mínima (PINTO; XAVIER, 2001).

2.1.2 Manutenção Preventiva

A Manutenção Preventiva, de acordo com Pinto & Xavier (2001), é a atuação efetuada de forma a evitar ou reduzir a queda no desempenho, obedecendo um plano previamente elaborado com intervalos de tempos definidos. Consideram como vantagem a previsibilidade de consumo de sobressalentes e também a continuidade do funcionamento dos equipamentos.

Devido a Manutenção Preventiva estar baseada em intervalos de tempo, ela é conhecida também como *Time Based Maintenance* (TBM), ou Manutenção Baseada no Tempo (MBT) (MIRSHAWKA,1991).

2.1.3 Manutenção Corretiva

Pinto & Xavier (2001) também definem a Manutenção Corretiva como aquela que é realizada quando ocorre um mau funcionamento, sendo necessária a troca de algum item do equipamento para que este volte a operar em boas condições

Esta manutenção ocorre quando algum item do equipamento falha ou seu desempenho é menor que o esperado.

2.2 Gestão de Estoques

A gestão de estoques de forma geral assume uma posição ambígua e contraditória. Se por um lado estoques representam segurança em ambientes complexos e incertos além de pronto atendimento, por outro lado os estoques representam um custo de oportunidade do capital das empresas, além de ocupar um espaço físico valioso (SLACK, 2002).

Via de regra, o setor de marketing das empresas busca manter elevados níveis de estoque para atender demandas flutuantes e atender prontamente as necessidades dos clientes. Conjuntamente, a gerência responsável pela manutenção deseja manter grandes níveis de inventários de sobressalentes buscando aumentar a disponibilidade das máquinas por meio de ações corretivas mais rápidas. Já o setor financeiro busca o menor nível de estoque, reduzindo assim os custos de oportunidades do capital da empresa imobilizado em materiais (FREITAS, 2008).

Slack et al. (2002) definem estoque como acumulação armazenada de recursos materiais em um sistema de transformação e, tais existem pois existe uma diferença entre a taxa de demanda e a taxa de fornecimento. Se houvesse fornecimento no momento exato da demanda não haveriam estoques, como é o caso da teoria do *JIT (just in time)*.

Correa et al. (2001) afirmam que a formação de estoques ocorre devido a inviabilidade ou impossibilidade de alinhamento entre demanda e fornecedor e devido as incertezas entre demanda e fornecimento.

A manutenção dos estoques possuem contrapartidas financeiras importantes, uma vez que eles representam porções significativas dos ativos das empresas. Estoques excessivos podem baixar a lucratividade das empresas de duas formas: quando o ativo total é elevado pelo investimento em estoques, o retorno sobre ele decai; e devido aos custos associados a sua manutenção o estoque reduz o lucro líquido da firma (FREITAS, 2008).

2.2.1 Gestão dos Estoques Sobressalentes de Manutenção

Mudanças econômicas ocorridas na década de 1970 levaram as empresas a mudarem suas estratégias produtivas e também a gestão de todas as atividades administrativas de suporte. Esta nova estruturação surtiu efeito na manutenção industrial com o desenvolvimento de conceitos como *Advanced Manufacturing*

Technologies (AMT), *Just in Time* (JIT) e *Total Productive Maintenance* (TPM) (FREITAS,2008).

A manutenção deixa de ser entendida como um mal necessário e passa a ser compreendida como uma função estratégica pois, ela passa a ser percebida como capaz de contribuir para o desempenho nos termos de custos, qualidade e produtividade (WAEYENBERGH; PINTELON,2002).

Kardec & Nascif (2007) afirmam que para a manutenção ser estratégica, ela precisa estar voltada para os resultados da organização. É preciso deixar de ser somente eficiente e se tornar também eficaz. Não basta apenas reparar o equipamento de forma rápida, mas principalmente manter a função do equipamento disponível para a operação, reduzindo a possibilidade de uma parada emergencial ou não planejada.

Decisões na gestão de sobressalentes de manutenção devem levar em considerações algumas características peculiares deste tipo de material. Uma divergência entre estoques de sobressalentes e estoques de produtos em processos é o nível de serviço necessário, visto que a falta de um sobressalente torna o equipamento indisponível. Já a falta de um produto de um processo pode ser substituído por outro e dar continuidade a produção de outro bem final (FREITAS,2008).

Para Ikhwan & Burney (1994), outro fator que aumenta o impacto da falta de sobressalentes é o *lead time* de fornecimento destes materiais. A compra de itens apenas quando eles se fazem necessários pode deixar sistemas produtivos indisponíveis por muito tempo. Em muitos casos, a falta de sobressalentes ou a dificuldade em obtê-los em tempo hábil é um dos grandes problemas para a gerência da manutenção.

A relação entre a importância de um sobressalente para a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, e o tempo que se pode esperar pelo seu fornecimento dá o nível de criticidade do item. Fatores como produtividade e utilização do equipamento, ou sistema produtivo, aliada a possibilidade de sua parada, por falta de itens sobressalentes de reposição, dá o nível de criticidade do equipamento (HUISKONEN, 2001).

O alto valor de alguns itens sobressalentes vai contra a tendência de mantê-los em estoque. Muitos possuem elevado custo unitário implicando diretamente em custos de oportunidade. Outro fator associado aos sobressalentes são os custos de armazenagem, visto que muitos deles necessitam de cuidados especiais de preservação, além do custo de obsolescência associado a eles (FREITAS, 2008).

Conhecer os modelos tradicionais de estoques se torna fundamental para determinar uma política de gestão de sobressalentes, apesar de toda a sua peculiaridade.

2.2.2 Percepção Humana e Previsibilidade de Sobressalentes

O processo ideal de previsão de vendas ocorre quando é acrescida a percepção humana, também considerada como técnica qualitativa dentro das ferramentas que calculam as previsões, na medida em que adiciona informações referente ao mercado que não são percebidas pelas técnicas quantitativas de previsão de vendas, conforme a Figura 1.

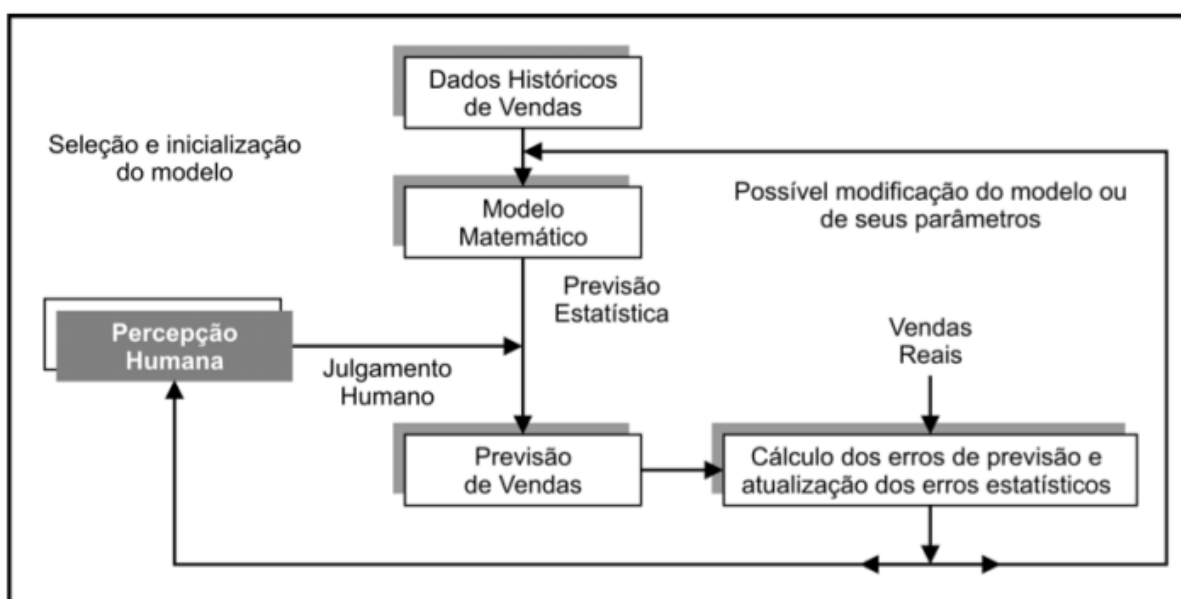


Figura 1. Percepção humana acrescida ao modelo matemático de previsão de vendas/consumo.

Fonte: Vieira, 2008.

Destaca-se então a importância de acrescentar a percepção da área de suporte ao cliente, que convive diretamente com os clientes, e assim conhecendo suas necessidades e insatisfações (VIEIRA, 2007).

Vieira (2007) afirma ainda que as técnicas de previsão geram números quantitativos, e estes se tornam o ponto de partida para discussões e análises gerenciais. A junção da percepção humana (qualitativa) e da previsão de vendas (quantitativa), tendem a formar um estoque capaz de atender às necessidades e expectativas dos clientes.

2.3 Introdução à Lógica *Fuzzy*

Em meados do século XIX o matemático inglês George Boole definiu o que conhecemos hoje por lógica clássica, onde um elemento representa de forma dual a sua pertinência a um determinado conjunto: pertence ou não pertence. Na Figura 2 abaixo está representada a dualidade proposta por Boole.

Consideremos um conjunto X com todos os números reais entre 0 e 10. Este é o Universo de Discurso. Agora definiu-se o subconjunto A de X com todos os números reais entre 5 e 8. A Figura 2 mostra sua função característica, onde esta função resulta em 0 ou 1 ao elemento em X dependendo se ele está ou não no subconjunto (VIEIRA, 2007).

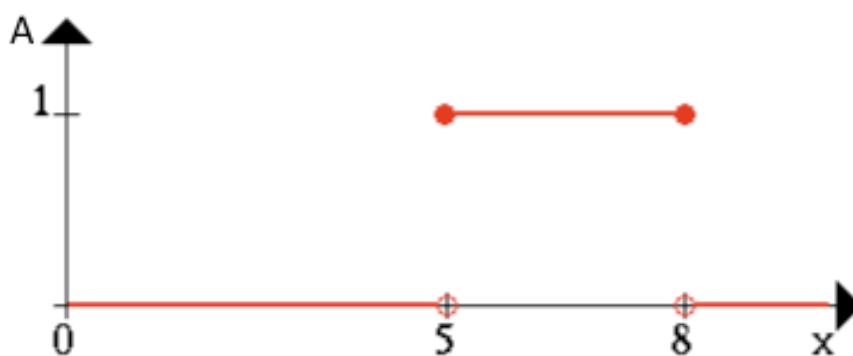


Figura 2. Representação da lógica tradicional.

Fonte: Vieira (2007)

Os elementos 5,6,7, e 8 pertencem ao subconjunto A e os demais elementos não pertencem ao subconjunto.

Essa lógica, contudo, não era capaz de traduzir as incertezas presente nas expressões verbais e nas informações vagas e imprecisas do cotidiano (SHAW;SIMÕES 1999). A necessidade de se inferir nessas incertezas não captadas pela lógica tradicional fez com que em 1965 Lotfi Zadeh propusesse uma nova forma de se analisar os conjuntos e seu elementos estendendo a dualidade, pertence e não pertence, para um sistema de barreiras não definidas que chamou de lógica difusa.

Segundo Gupta (1977) a teoria dos conjuntos difusos busca remover a barreira entre a linguagem do ser humano de palavras imprecisas, e a máquina que reconhece somente ordens precisas.

A princípio sem muito interesse por parte dos cientistas a lógica difusa (ou lógica *fuzzy*) foi utilizada pela primeira vez para controlar um processo em 1973 por Mamdani, e somente a partir de 1988 cientistas japoneses colocaram em prática a teoria de conjuntos *fuzzy* (SIEMENS, 2003).

2.3.1 Conjuntos *Fuzzy*

Na teoria clássica um elemento pertence ou não pertence a um conjunto, contudo, existem casos em que esta relação de pertinência não está claramente definida, ou seja, não é possível dizer se o elemento pertence ou não pertence aquele conjunto (BARROS 1992).

Enquanto a propriedade fundamental da lógica booleana é a função pertinência bivalente (SHAW;SIMÕES, 1999), os conjuntos difusos apresentam uma gama maior de alternativas. Utiliza-se o intervalo $[0,1]$, numa escala numérica, para representar com maior conveniência os graus de pertinência do elemento ao conjunto (DRIANKOV; HELLENDOR; REINFRANK, 1996).

O grau de pertinência de um elemento x , $x \in X$ em um conjunto *fuzzy* denominado B é representado por $\mu_B(x)$, e chama-se X o universo de discurso de B (OMIDEH, 2003). A Figura 3 exemplifica a lógica do conjunto *fuzzy*.

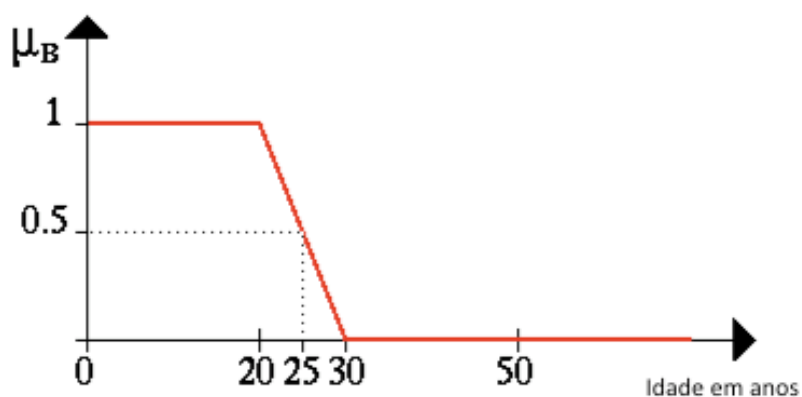


Figura 3. Representação de um conjunto *fuzzy*.

Fonte: Vieira (2007)

O conjunto B é determinado pelo conjunto de gente jovem. Uma pessoa com 20 anos é considerada jovem de acordo com a representação abaixo, contudo na idade seguinte, 21 anos, ela deixa de ser considerada jovem. Aos 21 anos a pessoa deixa de

fazer parte integralmente do conjunto gente jovem, e passa a integrar aquele grupo com um certo grau de pertinência (VIEIRA, 2007).

Agora tem-se representado os elementos e seu grau de pertinência. Note que o elemento idade 25 anos apresenta um grau de pertinência ao conjunto B igual à 0.5, enquanto qualquer outro elemento idade inferior a 20 anos apresenta pertinência igual à 1. Os elementos idades superiores a 30 apresentam grau de pertinência igual a zero, ou seja, não pertencem ao conjunto. Todos os outros elementos que possuem pertinência maior que zero, pertencem, mais ou menos, ao conjunto B.

A função de pertinência não é igual à função de probabilidade, uma vez que a soma de todos os valores de $\mu_U(\mathbf{x})$ de um conjunto U não é necessariamente um. A função pertinência relaciona a maior ou menor afinidade do elemento $\mathbf{x}$ em relação ao conjunto U (SHIMIZU, 2010).

Usualmente utiliza-se a linguagem cotidiana para nomear as funções de pertinência com o intuito de se aproximar a linguagem matemática ao modo humano de pensamento (OMIDEH, 2003).

2.3.1.1 Funções de Pertinência

As funções de pertinência mais comuns são apresentadas na Figura 4.

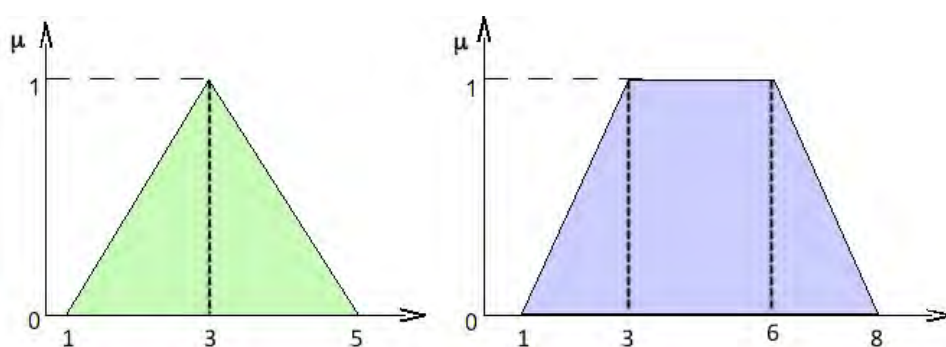


Figura 4. Função de pertinência Triangular e Trapezoidal.

A representação triangular possui seus vértices representados no eixo X por $\{a,b,c\}$, onde $a=1$, $b=3$ e $c=5$.

Já a função de pertinência trapezoidal possui sua representação dada por $\{a,b,c,d\}$, onde $a=1$, $b=2$, $c=5$ e $d=6$.

2.3.1.2 Operadores Fuzzy

De acordo com Omideh (2003), os operadores *fuzzy* são uma extensão dos operadores convencionais. A Figura 5, 6 e 7 identificam os principais operadores *fuzzy*.

- a) Intersecção/Conjunção/E: corresponde ao valor mínimo de pertinência representada na equação (1):

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (1)$$

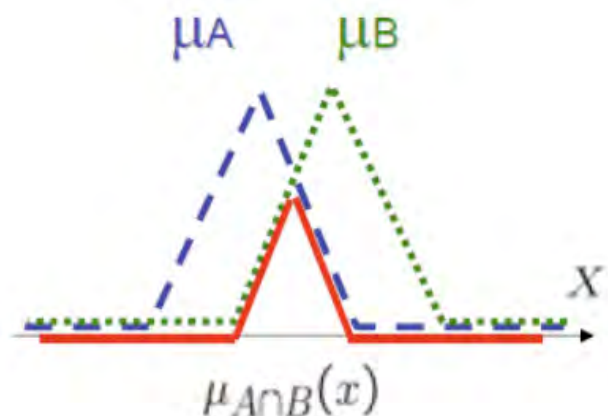


Figura 5. Operador E (NAGAMUNE,2008).

- b) União/Disjunção/OU: corresponde ao valor máximo de pertinência representada na equação (2):

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2)$$

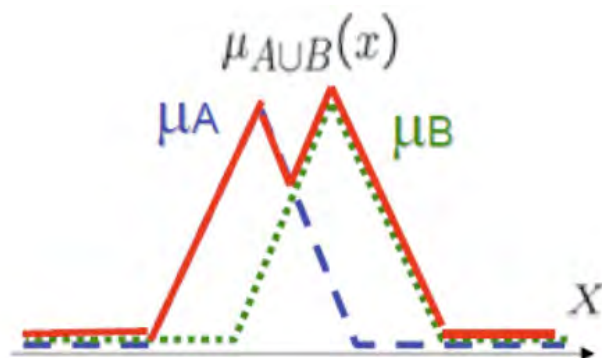


Figura 6. Operador OU (NAGAMUNE,2008).

- c) Complemento/Negação/Não: este operador é igual a 1 menos o valor de pertinência representada na equação (3):

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3)$$

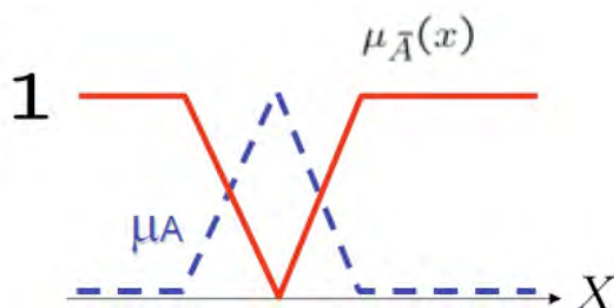


Figura 7. Operador Não (NAGAMUNE,2008).

2.3.2 Modelo de Inferência *Mamdani*

O método Mamdani é o mais comum e utilizado nas aplicações do cotidiano e foi por muitos anos um padrão para a utilização da lógica *fuzzy* em processamento de conhecimento. As regras de produção de um modelo de *Mamdani* possuem relações *fuzzy* tanto em seus antecedentes como em seus consequentes (REZENDE, 2003).

O modelo Mamdani inclui ainda módulos de interface que transformam as variáveis de entrada em conjuntos *fuzzy* equivalentes (fuzzificação) e, posteriormente, as variáveis *fuzzy* geradas em variáveis numéricas proporcionais (defuzzificação),

adequadas para os sistemas de atuação existentes (REZENDE, 2003). A Figura 8 mostra um diagrama típico de um sistema de processamento de conhecimento *fuzzy* utilizando o modelo de inferência de Mamdani.

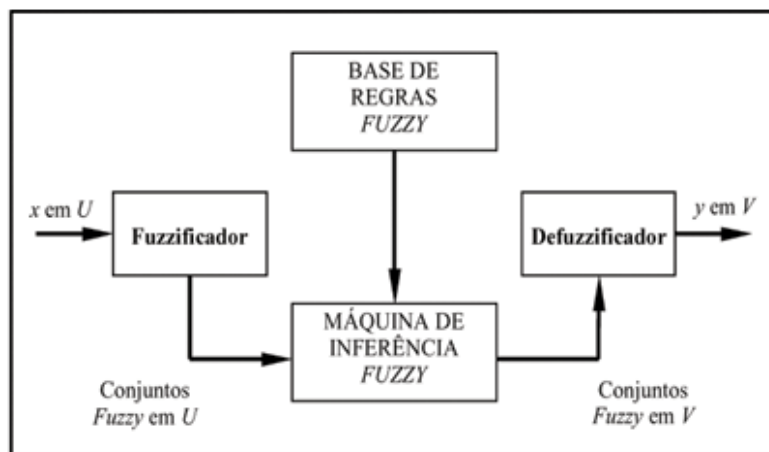


Figura 8. Diagrama de blocos da arquitetura de um controlador *fuzzy*.

Fonte: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-17592007000100009#fig03

A máquina de inferência recebe os valores *fuzzy* vindos do módulo de entrada, processa as regras existentes na Base de Regras fornecidas pelo especialista e gera um conjunto *fuzzy* de saída para o módulo de interface correspondente, a partir da composição de todas as regras disparadas (REZENDE, 2003).

Uma regra típica é a do tipo: “se x_1 é A_1 e x_2 é A_2 então y é igual a B ”, onde x_i corresponde a um valor de entrada, A_i corresponde a um conjunto difuso que representa um antecedente da regra, y corresponde à saída do controlador e B corresponde um conjunto *fuzzy* que representa o consequente da regra (ROSS, 2004).

A regra utilizada para o processamento de inferências com o modelo de Mamdani é chamada de inferência Máx-Min. Ela utiliza operações de intersecção e união entre conjuntos por meio de operadores de máximo e mínimo (REZENDE, 2003).

Para cada regra, teremos que o grau de pertinência de cada conjunto *fuzzy* consequente da base de regras, $\mu_B(y)$, será igual a equação (4) (ROSS, 2004):

$$\mu_B(y) = \max[\min[\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2)]] \quad (4)$$

Em um caso com 2 regras, teremos a saída y determinada conforme a Figura 9 abaixo (ROSS, 2004).

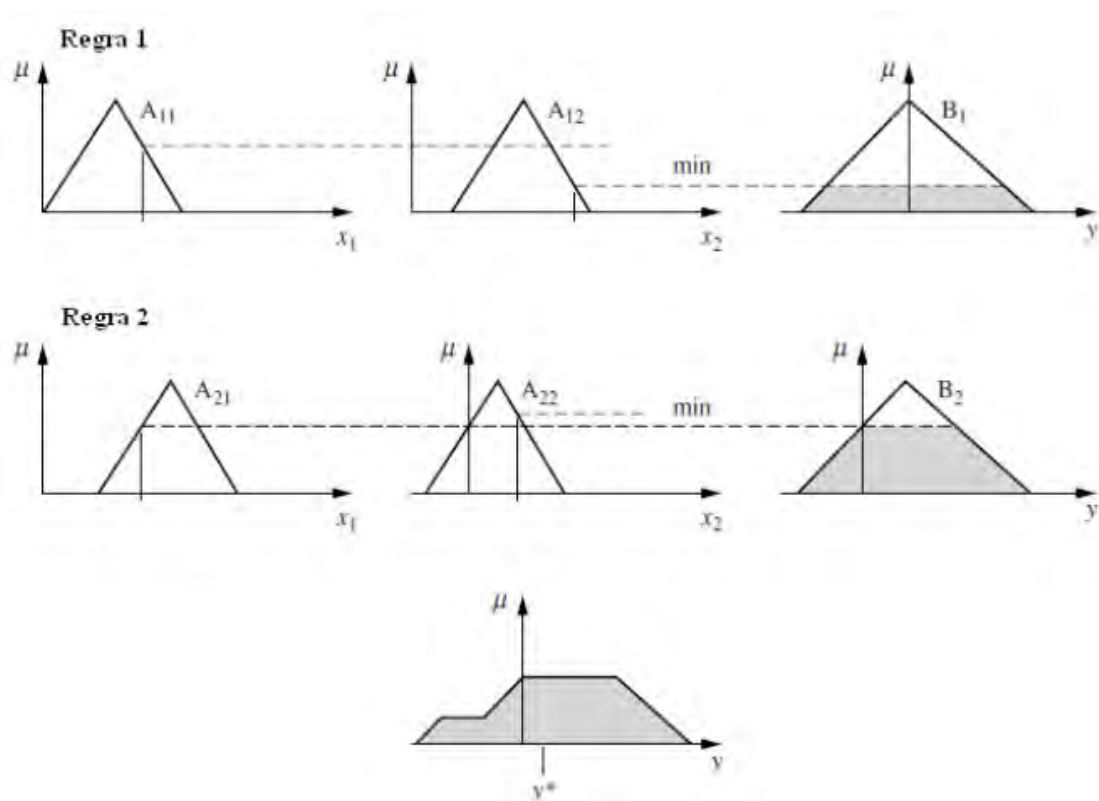


Figura 9. Método de inferência Mamdani (ROSS 2004).

2.3.3 Métodos de Defuzzificação

O processo de defuzzificação é a etapa responsável por trazer o resultado de saída do sistema de forma numérica. De acordo com as entradas fornecidas pelo usuários e as regras então ativadas pelo sistema, ocorre a formação de um novo conjunto difuso: conjunto difuso saída ESTOCAR ou NÃO ESTOCAR.

A transformação deste novo conjunto difuso em um valor quantitativo pode ser executada de algumas formas. A ferramenta mais utilizada neste processo é através do cálculo do centro de área do conjunto difuso final.

Este método determina o centro de área abaixo da função pertinência combinada da saída (DRIANKOV; HELLENDORRN; REINFRANK, 1996). Onde B é a união das funções de pertinência da consequência da base de regras, a saída z^* , é obtida por meio da equação (5) (ROSS, 2004):

$$z^* = \frac{\int \mu_B(z) \cdot z \, dz}{\int \mu_B(z) \, dz} \quad (5)$$

A Figura 10 ilustra o método do cálculo de centro de área (ROSS, 2004):



Figura 10. Defuzzificação pelo método do Centro de Área (ROSS, 2004).

2.4 Sistema Especialista *Fuzzy*

Segundo Shimizu (2010), o Sistema Especialista *Fuzzy* ou Difuso, é um sistema de informação que contém sentenças descritivas ou dados de uma determinada atividade humana, como diagnóstico médico, previsão financeira, consultas sobre arqueologia etc.

Todo o conjunto de informações contidas no sistema especialista é coletada sob a supervisão de um grupo de especialistas sobre um determinado assunto, e o sistema responde de forma natural a qualquer pergunta de um usuário, como se este estivesse consultando um profissional ou especialista do ramo (SHIMIZU, 2010).

Shimizu (2010) explica que as informações do sistema especialista são armazenadas em forma de sentenças denominadas *regras de produção*, do tipo: **if** (antecedente), **then or else** (consequente).

O antecedente é composto por um conjunto de condições que, quando satisfeitas (mesmo que parcialmente), determinam o processamento do consequente da regra por um mecanismo de inferência *fuzzy*. Tal processo acima denomina-se disparo de uma regra (REZENDE, 2003).

Por sua vez, o consequente é composto de um conjunto de ações ou diagnósticos que são gerados com o disparo da regra. Os consequentes das regras disparadas são processados em conjunto para gerar uma determinada resposta para cada variável de saída do sistema (REZENDE, 2003).

Tais regras são selecionadas para resolver um problema, levantado por um usuário do sistema, por meio de algoritmos que formam o mecanismo de inferência. Em um sistema especialista difuso, os fatos são representados por conjuntos difusos, e então os algoritmos de decisão também são descritos por conjuntos difusos. Portanto o mecanismo de inferência é substituído por um mecanismo de inferência difusa (SHIMIZU, 2010).

3. APLICAÇÃO DO SISTEMA ESPECIALISTA *FUZZY*

3.1 Método de Pesquisa

A utilização de modelos permite compreender melhor o ambiente, identificar problemas, formular estratégias e oportunidades para apoiar o processo de tomada de decisão. Os modelos devem possuir detalhes suficientes afim de captar elementos essenciais que representem a realidade e ser ao mesmo tempo simples o bastante para ser tratável por métodos de análise e resolução conhecidos (MIGUEL, 2010).

Miguel (2010) define modelo como uma representação de alguma situação ou realidade, vista por uma pessoa ou um grupo de pessoas, e construída de forma a auxiliar o tratamento daquela situação de forma sistemática.

3.1.1 Pesquisa Empírica Quantitativa

No segmento de pesquisa empírica quantitativa, a principal preocupação do pesquisador é assegurar que exista adesão entre as observações e ações na realidade e o modelo elaborado daquela realidade. A pesquisa empírica quantitativa preocupa-se com testar em processos reais, com a validade dos modelos científicos obtidos pela fundamentação teórica, o desempenho das soluções resultantes (MIGUEL, 2010).

3.1.2 Modelos Estocásticos ou Probabilísticos

Miguel (2010) define que modelos de programação estocástica consideram incertezas nos parâmetros do problema definido.

Em casos onde a demanda dos clientes não é conhecida, ou em que a demanda dos itens estocados e os *lead times* de reposição dos itens são considerados incertos, a teoria ou análise da decisão envolve o uso de um processo racional de seleção em que a tomada de decisão pode assumir certezas ou incertezas (MIGUEL, 2010).

O presente trabalho se trata de um modelo estocástico pois auxiliará na decisão de inclusão de sobressalentes de manutenção que possuem demanda variada e irregular.

3.2 A Empresa

A empresa, em que o trabalho em questão foi desenvolvido, trata-se de uma multinacional de grande porte produtora de bens de consumo como produtos de higiene, saúde, beleza e cosméticos. Está presente no Brasil a mais de 75 anos e com um faturamento anual mundial superior a 65 bilhões de dólares.

A companhia atende mais de 10 fábricas dentro de seu site industrial e conta com somente um almoxarifado central de sobressalentes de manutenção para o atendimento de paradas programadas ou emergenciais de todas as plantas.

Todo o gerenciamento da manutenção e do almoxarifado é reportado para um diretor geral de utilidades, cabendo ao supervisor do almoxarifado e ao gerente da engenharia de manutenção controlar o gerenciamento de *spare parts*.

3.3 Sistema Atual

Atualmente o gerenciamento do consumo dos sobressalentes é feito pelo sistema SAP – R3. Este sistema armazena todos os cadastros e históricos de utilização de cada item mantido fisicamente no site. É possível verificar por meio do sistema todos aqueles itens que foram estocado e não consumidos ao longos dos meses e anos, além também, de verificar quais itens possuem elevado giro de consumo.

Contudo, não existe uma metodologia implantada para verificar a real necessidade de estocagem dos itens, ou seja, a decisão de estocar ou não estocar os sobressalentes de manutenção fica a mercê do conhecimento e experiência dos operadores de manutenção mecânica e elétrica que solicitam a compra ou reposição dos sobressalentes, e a aprovação final de estocagem cabe ao supervisor do almoxarifado junto ao gerente da engenharia de manutenção.

Muitas vezes influenciado pelo crescente valor de nível de inventário de *spare parts*, que permeia atualmente 12 milhões de dólares, o gerente da engenharia de manutenção não aprova algumas requisições solicitadas para estocagem de material no almoxarifado. Desta forma o nível de inventário não aumenta, mas aumenta-se o risco de uma parada de máquina por muito tempo, uma vez que não se tornou possível o pronto atendimento da manutenção emergencial devido à não estocagem de alguns itens sobressalente.

Buscando atender as necessidades de pronto atendimento nas paradas emergenciais das máquinas do site e, adequar a estocagem de itens realmente necessários no almoxarifado, foi proposto um modelo matemático que utilizasse o conhecimento dos experientes operadores de manutenção junto ao conhecimento gestacional do gerente da engenharia de manutenção, para um auxílio na tomada de decisão na inclusão ou não de sobressalentes de manutenção em estoque.

3.4 Proposição de Modelo

Para transformar a linguagem humana do conhecimento do especialista de Manutenção, no caso o gerente da engenharia de manutenção, e seu time de operadores de manutenção, em linguagem quantitativa, o Sistema Especialista foi modelado em ambiente MATLAB por meio de diagramas *fuzzy* obtendo-se então como resultado o Sistema Especialista *Fuzzy*.

Esta nova ferramenta auxiliará na tomada de decisão na inclusão de sobressalentes de manutenção em estoque por parte do gerente de engenharia de manutenção.

3.4.1 Levantamento de Critérios

Para propor um novo modelo que atendesse a necessidade de estocar somente itens realmente necessários, criou-se um grupo de discussão com os membros mais experientes de cada uma das plantas do site na área de manutenção.

Em reuniões de frequência semanal foram realizados *brain storms* entre os integrantes dos grupo para identificar quais critérios eram importante e relevantes na hora de se tomar uma decisão para a inclusão de um sobressalente. Os critérios de maior relevância identificados foram:

- Criticidade do equipamento em que se insere o sobressalente: pois manter em estoque um item de um equipamento que possui baixa utilização pode não ser necessário;
- Possibilidade de reparo ao invés da aquisição de sobressalente: muitas vezes o reparo do item se torna menos custoso do que a aquisição de um novo;
- Tempo de reparo, quando este possível: pois se o tempo de reparo for muito elevado e o equipamento possuir alta criticidade, a estocagem se faz necessária;
- Possibilidade de continuidade do trabalho de forma manual: uma vez que a máquina parou devido a quebra de um item, mas a operação pode continuar de forma manual, a estocagem pode não ser necessária;
- Tempo de trabalho manual, quando possível, uma vez que manter um trabalho de forma manual por muitos dias pode se tornar mais caro que a aquisição do item;

- *Lead time* do sobressalente: em casos onde os sobressalentes são importados e são utilizados em equipamentos de alto grau operacional, a estocagem pode ser necessária;
- Possibilidade de falha do sobressalente: pois sobressalentes possuem diferentes curvas de possibilidade de falha, ou seja, a chance de um rolamento falhar não é a mesma de uma carcaça de câmbio falhar, tornando então este parâmetro considerável na decisão.

Contudo devido a uma faixa de incerteza presente na possibilidade de falha do sobressalente, pois é necessário traduzir a incerteza do item em valores quantitativos, na criticidade do equipamento, pois existe uma gama elevada de pontuações possíveis para a classificação de sua criticidade e no *lead time*, uma vez que as variações de prazos são também muito variadas e pode ocorrer atrasos em suas entregas, houve a necessidade de se detalhar cada critério para dar um grau maior de precisão na decisão a ser tomada de forma conjunta envolvendo esses três critérios.

Foi a partir destes três critérios, relevantes e de maior incerteza na sua definição, que pode-se desenhar os conjuntos ou diagramas difusos, ou conjuntos *fuzzy*.

3.4.2 Conjuntos *Fuzzy*

3.4.2.1 Criticidade do Equipamento

A criticidade do equipamento foi um critério levantado como importante para o grupo de discussão, pois a definição da criticidade de um equipamento está diretamente ligada a 6 Fatores em caso de paradas emergenciais de máquinas, ou seja, são esses Fatores que identificam o nível crítico do equipamento. São os Fatores:

- Produção do bem de consumo;
- Utilização do equipamento;

- Qualidade do produto final;
- Segurança e Meio Ambiente;
- Frequência de falhas naquele equipamento;
- Média de tempo de reparo;
- Potencial de redução de perdas.

3.4.2.2 Cálculo da Criticidade

A criticidade do equipamento é estabelecida primeiro individualmente por cada Fator de Risco e posteriormente para o equipamento como um todo.

O grupo de engenheiros responsáveis pela manutenção da planta, juntos aos operadores de manutenção, julgam cada Fator de acordo com as escalas (*score*) pré estabelecidas na Tabela 1, e suas descrições. Onde 1 representa a mínima interferência no Fator e 5 representa a máxima interferência no Fator.

Tabela 1. Fatores que identificam a criticidade do equipamento.

FATOR A	PRODUÇÃO		Pontuação
	A falha não favorece nenhum impacto significativo no equipamento. Equipamento em espera e disponível.		1
	A falha favorece um pequeno impacto na produção, porém é improvável afetar outras áreas do processo.		2
	A falha favorece um impacto significativo na produção e pode afetar outras áreas do processo.		3
	A falha causa grande impacto nas operações da planta. A falha do equipamento impacta em 25% a produção da planta.		4
FATOR B	UTILIZAÇÃO		Pontuação
	O equipamento é utilizado ocasionalmente.		1
	O equipamento é utilizado de forma independentemente em até 50% do tempo disponível.		2
	O equipamento é parte de um processo contínuo, e é utilizado de acordo com o planejamento da produção.		3
	O equipamento é requerido para funcionar em todo o tempo disponível.		4

Continuação Tabela 1. Fatores que identificam a criticidade do equipamento.

FATOR C	QUALIDADE		Pontuação
	Não causa efeito na qualidade do produto		1
	Causa pequeno impacto na qualidade do produto		2
	Efeito crítico na qualidade do produto e pode resultar em perdas principais do processo produtivo, com necessidade de recall e averiguações externas.		3
FATOR D	SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE		Pontuação
	Pouco ou nenhum risco relacionado a pessoas, equipamentos ou meio-ambiente		1
	Pequenos riscos relacionados a pessoas, equipamentos ou meio-ambiente		2
	Grandes riscos relacionados a pessoas resultando perdas pelo acidente causado, danos ao equipamento e meio ambiente e que requer a notificação às autoridades relevantes		3
	Resultado catastrófico, que resulta a perda de vida ou a destruição do equipamento e/ou danos ambientais que resultam na perda da licença de operação do produto / planta		4
FATOR E	FREQUÊNCIA DE FALHAS		Pontuação
	As falhas são raras, menos de uma vez por o ano		1
	As falhas são ocasionais e ocorrem entre 3 e 12 meses		2
	As falha ocorrem entre 1 e 3 meses.		3
	As falhas ocorrem pelo menos 1 vez por mês		4
	As falhas de ocorrem ao menos 1 vez por semana		5
FATOR F	MÉDIA DE TEMPO DE REPARO		Pontuação
	Parada	Duração das paradas	
	Menor	0-30 minutos	1
	Significante	30-120 minutos	2
	Maior	2-8 horas	3
	Severa	> 8 horas	4
FATOR G	POTENCIAL DE REDUÇÃO DE PERDAS		Pontuação
	Não é gerado perdas em condições normais de operação		1
	Pequenas quantidade de perdas são ocorridas quando existe uma falha		2
	Quantidades de perdas geradas durante a produção são significativas		3
	Quantidades de perdas geradas durante a produção são significativas e necessitam de ações imediatas		4

A pontuação final da criticidade do equipamento é estabelecida pela produtória dos valores julgados em cada um dos Fatores individualmente ((Fator A) X (Fator B) X (Fator C) X (Fator D) X (Fator E) X (Fator F) X (Fator G)) e pode variar de 1 à 15360 pontos no total.

O grupo de engenheiros da empresa utiliza a Tabela 2 como referência para estabelecer e diferenciar os equipamentos críticos A, B ou C. Pode-se dizer que é uma adaptação da teoria de Pareto, onde 80% dos equipamentos representam a maior receita da empresa e apenas 20% produzem itens de alto valor agregado.

Observou-se que a variação em 1 ponto, para mais ou para menos, na pontuação global do equipamento pode transformá-lo de crítico A para B (e *vice-versa*) ou de B para C (e *vice-versa*). Por este motivo foi desenhado um diagrama *fuzzy* da Criticidade Global dos equipamentos conforme a Figura 11. O diagrama foi estabelecido pelo especialista.

Tabela 2. Referência de Criticidade adotada.

Criticidade Equipamento	Pontuação
A	≤ 2500
B	1000 - 2500
C	1 - 1000

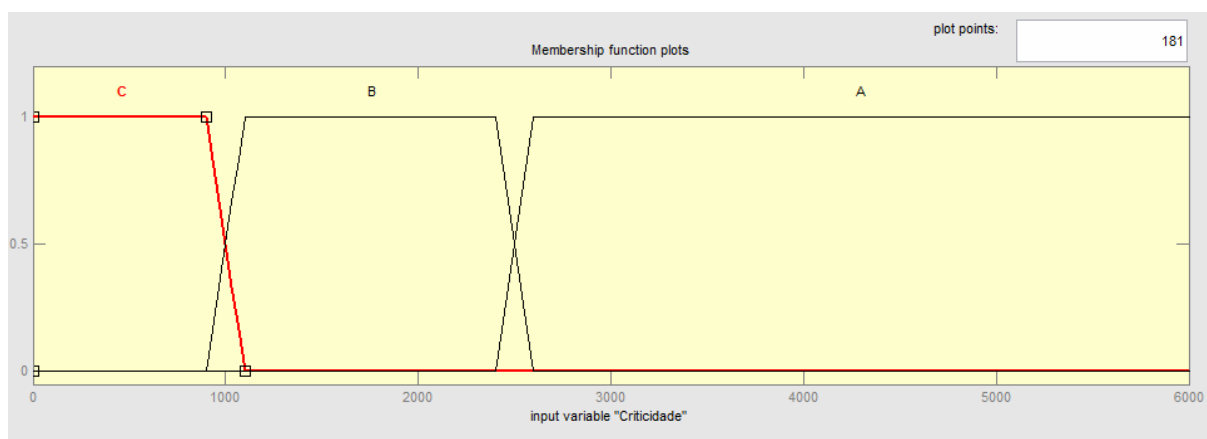


Figura 11. Conjunto *fuzzy* da Criticidade do Equipamento: A, B e C.

3.4.2.3 Lead Time

O site da companhia apresenta mais de 65% de seus equipamentos importados, dos quais muitos não possuem representantes no Brasil, o que torna o período de importação do sobressalente muito elevado com um prazo a partir de 60 dias.

Em casos de equipamentos com alta pontuação de criticidade, que a parada de máquina pode gerar uma grande perda financeira para a companhia, a estocagem de sobressalentes se faz necessária. Contudo, a estocagem de alguns itens importados mas com baixa ou nula possibilidade de falha gera um custo de oportunidade, uma vez que a possibilidade de utilização deste item será muito pequena.

O time de engenharia busca sempre que possível evitar esse *lead time* elevado com constantes pesquisas para a substituição de itens importados por itens nacionais nos equipamentos.

Para os *lead times* dos sobressalentes importados ou nacionais desenhou-se mais um conjunto difuso que foi também determinado pelo especialista em conjunto com o time de operadores de manutenção.

A coordenada X está representada em dias, ou seja, os prazos imediato, médio e longo também estão representados em dias.

O conjunto difuso do *lead time* está representado na Figura 12:

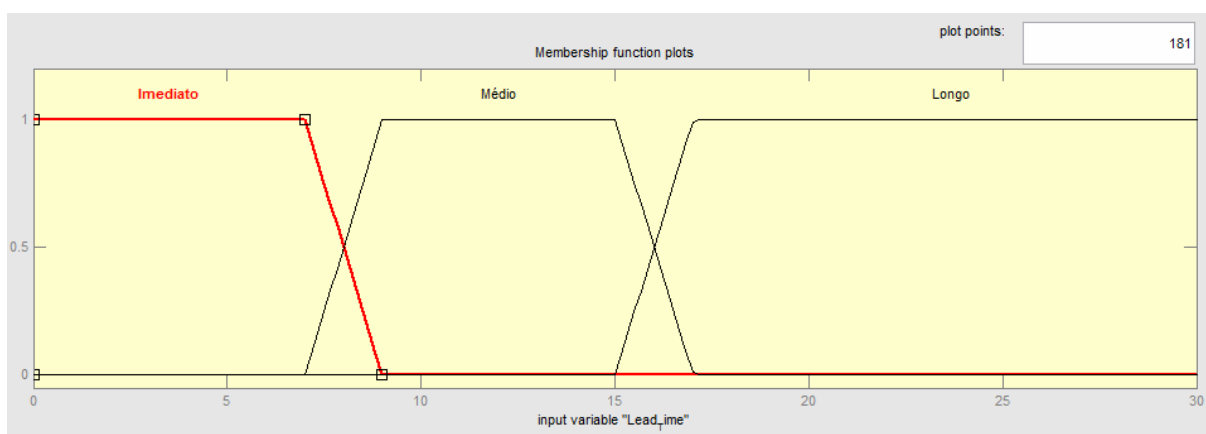


Figura 12. Conjunto fuzzy Lead time: Imediato, Médio e Longo.

3.4.2.4 Possibilidade de Falha

A possibilidade de um sobressalente falhar também foi levada em consideração, mas nem sempre é possível estabelecer a probabilidade da falha por não se possuir o histórico de quebra do item.

Por esse motivo, o conhecimento dos operadores da manutenção junto ao especialista se mostrou importante na determinação do conjunto difuso: a faixa de possibilidade de falhas.

Quatro níveis de Possibilidades de Falha foram estabelecidos:

- Alta: Ocorre Frequentemente;
- Média: Ocorre Ocasionalmente;
- Baixa: Não lembra a última vez que ocorreu;
- Nula: Difícil imaginar que ocorrerá.

Essas faixas de incertezas foram traduzidas numericamente pelo especialista de Manutenção em conjuntos difusos. O conjunto *fuzzy* na Figura 13 mostra a possibilidade de falha do sobressalente onde o tempo potencial entre uma falha e outra está expresso em meses.

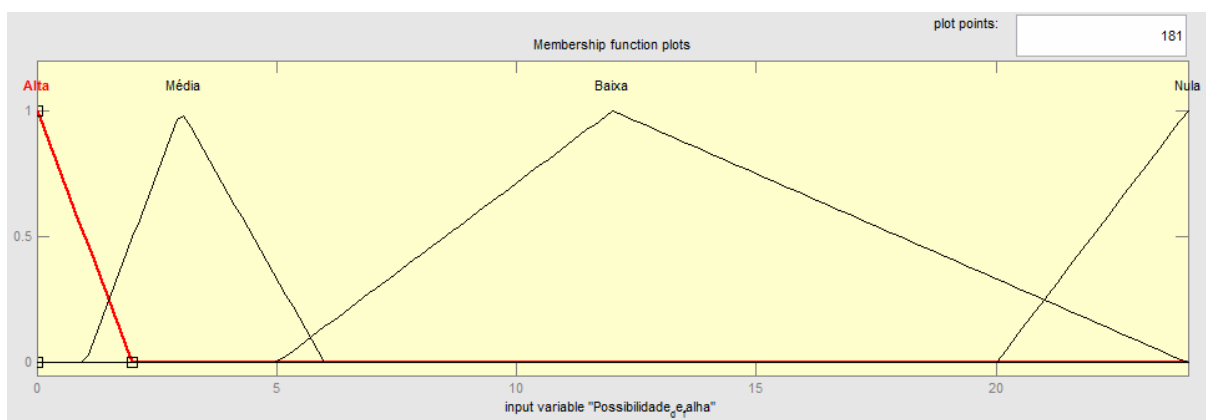


Figura 13. Conjunto difuso Possibilidade de Falha do sobressalente: Alta, Média, Baixa e Nula.

3.4.3 Estabelecimento de Regras

O especialista de Manutenção junto do seu grupo de operadores de manutenção conseguiu unir de forma detalhada os 3 critérios relevantes antes de se tomar uma decisão para a inclusão do sobressalente.

Utilizou-se a função de pertinência trapezoidal para os conjuntos difusos Criticidade, *lead time* e Possibilidade de Falha, que são as entradas do nosso sistema em ambiente MATLAB.

Determinou-se as 36 combinações possíveis dentre os 3 critérios levantados de forma a modelar a decisão. Algumas decisões são idênticas, ou seja, em caso de possibilidade de falha nula, para qualquer que seja o *lead time* e a criticidade, a decisão é sempre não estocar. Com isso das 36 regras possíveis apenas 28 se tornam ativas. Abaixo as regras estão representadas na Tabela 3 :

Tabela 3. Conjuntos de regras determinadas pelo especialista

REGRA	CRITICIDADE		LEAD TIME	POSSIBILIDADE DE FALHA			DECISÃO
1	A	A	IMEDIATO				ESTOCAR
2			IMEDIATO				ESTOCAR
3			IMEDIATO				NÃO ESTOCAR
4			IMEDIATO				NÃO ESTOCAR
5			MÉDIO				ESTOCAR
6			MÉDIO				ESTOCAR
7			MÉDIO				ESTOCAR
8			MÉDIO				NÃO ESTOCAR
9			LONGO				ESTOCAR
10			LONGO				ESTOCAR
11			LONGO				ESTOCAR
12			LONGO				NÃO ESTOCAR
13	B	A	IMEDIATO				ESTOCAR
14			IMEDIATO				NÃO ESTOCAR
15			IMEDIATO				NÃO ESTOCAR
16			IMEDIATO				NÃO ESTOCAR
17			MÉDIO				ESTOCAR
18			MÉDIO				ESTOCAR

Continuação Tabela 3. Conjuntos de regras determinadas pelo especialista

19		B		MÉDIO		BAIXA		NÃO ESTOCAR
20		B		MÉDIO		NULA		NÃO ESTOCAR
21		B		LONGO		ALTA		ESTOCAR
22		B		LONGO		MÉDIA		ESTOCAR
23		B		LONGO		BAIXA		ESTOCAR
24		B		LONGO		NULA		NÃO ESTOCAR
25		C		IMEDIATO		ALTA		NÃO ESTOCAR
26		C		IMEDIATO		MÉDIA		NÃO ESTOCAR
27		C		IMEDIATO		BAIXA		NÃO ESTOCAR
28		C		IMEDIATO		NULA		NÃO ESTOCAR
29		C		MÉDIO		ALTA		ESTOCAR
30		C		MÉDIO		MÉDIA		NÃO ESTOCAR
31		C		MÉDIO		BAIXA		NÃO ESTOCAR
32		C		MÉDIO		NULA		NÃO ESTOCAR
33		C		LONGO		ALTA		ESTOCAR
34		C		LONGO		MÉDIA		ESTOCAR
35		C		LONGO		BAIXA		NÃO ESTOCAR
36		C		LONGO		NULA		NÃO ESTOCAR

Como exemplo da utilização da Tabela 3 observemos a Regra 1, que é definida por: Se Criticidade é A e *Lead Time* é IMEDIATO e Possibilidade de Falha é ALTA então decisão é ESTOCAR.

3.5 Modelagem no MATLAB

Uma vez determinado todos os conjuntos *Fuzzy* e as 36 possibilidades de combinação dos critérios relevantes (criticidade, *lead time* e possibilidade de falha), é necessário se desenhar os *outputs* ESTOCAR e NÃO ESTOCAR para cada uma das 36 regras.

Adotou-se um mesmo conjunto difuso como resultado para todas as regras, onde a decisão ESTOCAR representa 1 e a decisão NÃO ESTOCAR representa 0. O conjunto *fuzzy* esta representado na Figura 14 abaixo:

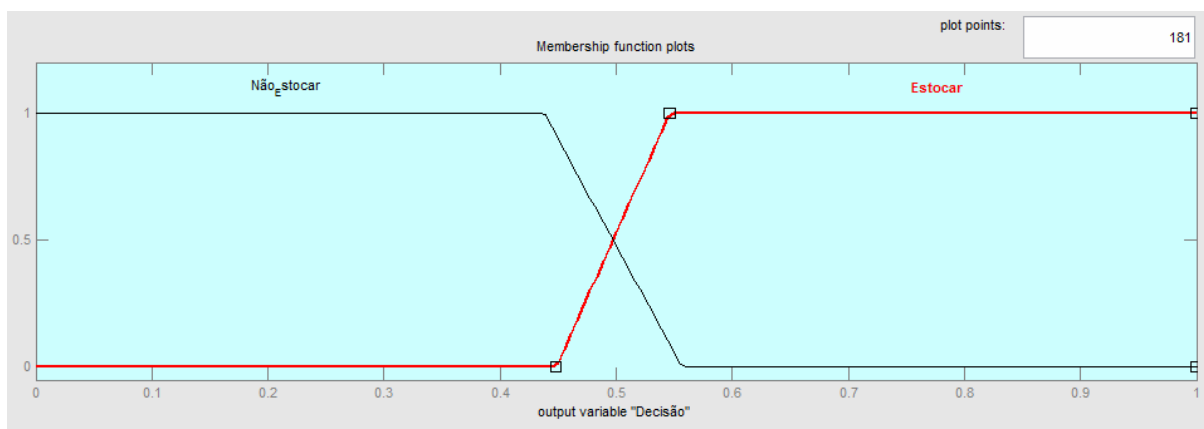


Figura 14. Conjunto *fuzzy* de saída: Não Estocar e Estocar.

De acordo com dimensionamento do conjunto *fuzzy* determinado pelo especialista e de acordo com o método de defuzzificação adotado pelo centro de área da Figura resultante, tem-se que para os resultados NÃO ESTOCAR, o centro de área mais próximo do zero representam uma decisão mais acurada, enquanto para as decisões ESTOCAR, centros de área mais próximos de 1 representam a decisão mais acuradas. Entende-se acurada como o grau de pertinência da resposta do sistema aos conjuntos difusos decisórios, ou seja, um centro de área 0.75 para Estocar é mais preciso que 0.55 também para Estocar.

A visualização do software é como ilustrada na Figura 15:

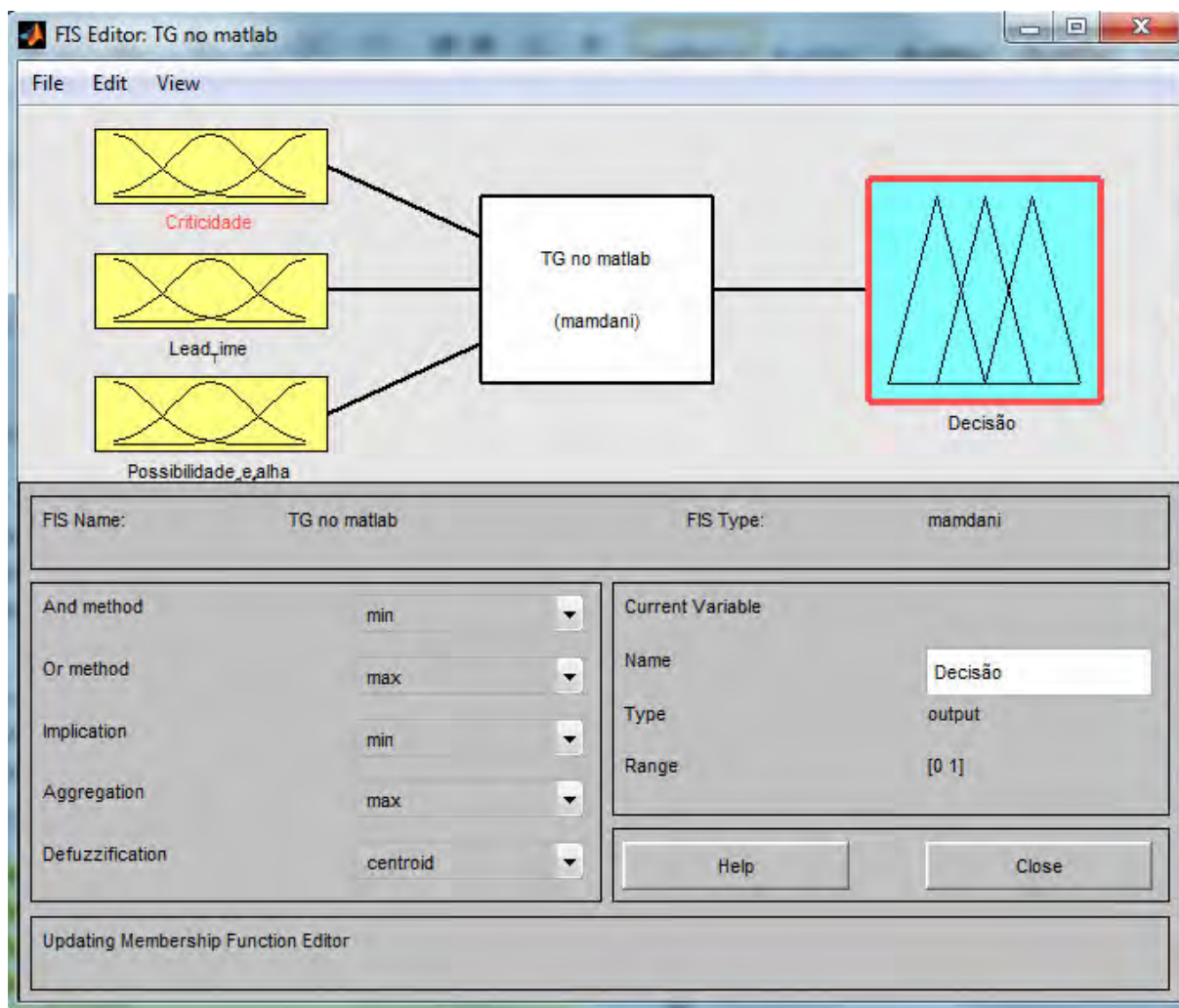


Figura 15. Entradas, máquina de inferência e saídas do software MATLAB.

Tem-se os 3 conjuntos difusos de entrada do sistema, a base de regras estabelecidas pelo Sistema Especialista com modelo de inferência Mamdani e o conjunto difuso de saída do sistema.

Utilizou-se o método das áreas mínimas para o conectivo E, e método das áreas máximas para o conectivo OU. A Figura 15 mostra a tela inicial do software utilizado.

3.6 Exemplos Reais

Para a validação do modelo apresentado, utilizou-se 4 casos reais de forma comparativa, ou seja, o que o sistema proposto gerou como resposta e a situação real

de estoque do sobressalente. A Tabela 4 abaixo mostra os 4 exemplos, as criticidades, os lead times, as possibilidades de falha, a decisão do modelo e a situação atual do sobressalente em almoxarifado.

Tabela 4. Exemplos utilizando modelo proposto.

SOBRESSALENTE	CRITICIDADE	LEAD TIME	POSSIBILIDADE DE FALHA	DECISÃO	SITUAÇÃO ATUAL DE ESTOQUE
1	972	7	ALTA = 1 mês	0.459 - NÃO ESTOCAR	HAVIA ESTOQUE
2	1728	60	ALTA = 2 MESES	0.739 - ESTOCAR	HAVIA ESTOQUE
3	2592	25	MÉDIA = 4 MESES	0.743 - ESTOCAR	NÃO HAVIA ESTOQUE
4	648	12	BAIXA = 6 MESES	0.272 - NÃO ESTOCAR	HAVIA ESTOQUE

Os itens escolhidos para validar o modelo foram exemplos em que haviam discussões sobre a permanência em estoque ou não pelo gerente da manutenção.

No caso 1, se tratava de um item estocado contudo sem necessidade acusado pelo método. Justificado pelo baixo valor de lead time e baixa criticidade, a parada daquele equipamento pela falha do sobressalente não gera problemas em produtividade. Este foi um item que estava em discussão para a sua retirada do estoque e o modelo confirmou esta idéia inicial do time de manutenção. A Figura 16 no anexo I mostra as regras ativadas de acordo com os inputs da tabela acima, e a a Figura resultante.

O segundo caso, onde a decisão foi estocar e ja havia estoque, verificou-se que o fato do *lead time* ser alto e a possibilidade também ser alta revelou a necessidade da estocagem. A Figura 17 no anexo I exemplifica a área resultante da decisão e as regras ativadas.

O terceiro caso, tem-se um exemplo crítico, pois o equipamento é altamente critico, o lead time é relativamente alto e a possibilidade de falha é de uma a cada quatro meses. Não havia estoque e o sistema gerou uma decisão de estocar. Decisão acatada pelo gerente buscando uma não para de da máquina em caso de quebra. A Figura 18, no anexo I, mostra as regras ativadas e a Figura resultante.

No caso 4 temos um equipamento de baixa criticidade, *lead time* relativamente baixo e possibilidade de falha semestral. O sistema gerou a decisão de não estocar e havia estoque na empresa. Isso mostra um ativo imobilizado de forma desnecessária, uma vez que a falha do sobressalente não irá causar um impacto elevado na fábrica, justificado pelos critérios adotados na decisão tomada. A Figura 19, no anexo I, mostra a área resultante e as regras disparadas.

4. CONCLUSÕES

4.1 Considerações Gerais

O presente trabalho se baseou na premissa da falta de opções de modelos que se adequem a demandas irregulares de consumo de sobressalentes de manutenção. A partir disto foi possível identificar fatores importantes no momento de tomada de decisão para a inclusão destes itens. Fatores como criticidade do equipamento em que se encontra o sobressalente, *lead time* e possibilidade de falha se mostraram de importante relevância por um grupo experiente e conhecedor da manutenção.

O conhecimento deste grupo foi imprescindível no desenvolvimento e modelagem do sistema matemático de forma qualitativa transformando seu conhecimento na área, em valores quantitativos.

A partir do modelo proposto foi possível perceber que esta nova metodologia de auxílio a tomada de decisão responde aos questionamentos diários no momento de decisão para a inclusão de itens em estoque. De forma comparativa pode-se observar o cenário anterior e o atual demonstrando a validade da ferramenta. Ou seja, a utilização do método trouxe benefícios para a companhia.

Por fim, ficou explícito que o modelo proposto pode sofrer ajustes de acordo com as necessidades dos usuários, uma vez que é possível alterar as faixas limítrofes dos conjuntos difusos, adequando-se a uma nova realidade. Estocar itens que são realmente críticos dentro do processo de manutenção se faz necessário desde que esta estocagem obedeça limites que não diminuam a lucratividade global da empresa por meio de elevados valores de inventários de sobressalentes, buscando assim o ponto de equilíbrio dos estoques de manutenção.

4.2 Trabalhos Futuros

A modelagem desenvolvida neste trabalho atende a necessidade da gerência da empresa que busca uma maior acuracidade em suas decisões relativas à estoque. Contudo, trabalhos futuros podem ser propostos para melhorar o nível de serviço no atendimento das manutenções emergenciais: como por exemplo o aprofundamento dos estudos relativos à estoque num âmbito quantitativo, ou seja, buscar a excelência na quantidade a ser estocada de sobressalentes.

A gestão do conhecimento é primordial para o avanço destes novos estudos pois aproxima o cotidiano operacional das decisões gerenciais. As experiências rotineiras advindas do nível operacional agregam um fator importante na teoria gestacional onde a prática se mostra como peça fundamental para determinar a viabilidade de implementação dos projetos.

A modelagem proposta pode sofrer ajustes e novos critérios para decisões podem ser identificados. Portanto, o estudo contínuo com uma aliança entre conhecimento operacional e gestão estratégica são ações que agregam valor e trazem melhorias contínuas aos processos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOTTER, R.; FORTUIN, L. Stocking strategy for service parts: a case study. **International Journal of Operations & Production Management**, v.20, n.6, p.656-674, 2000.
- CORREA, H.; GIANESI I.; CAON, M. *Planejamento, Programação e Controle da Produção. MRP II /ERP Conceitos, Uso e Implantação*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- DRIANKOV, D.; HELLENDORRN, H.; REINFRANK, M. **An introduction to fuzzy control**. Second Revised Edition: Springer, 1996. 316p.
- FREITAS, R. P.; **Controle de estoque de peças de reposição: revisão da literatura e um estudo de caso**. Rio de Janeiro, 2008. 76p. Dissertação de Mestrado (opção profissional) – Departamento de Engenharia Industrial. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- HUISKONEN, J. **Maintenance spare parts logistics: special characteristics and strategic choices**. International Journal of Production Economics, vol. 71, n.1, pg. 125-133, 2001.
- IKHWAN, M; BURNEY, F. **Maintenance in Saudi industry**. International Journal of Operations & Production Management, vol, 14, n. 7, pg. 70-80, 1994.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função estratégica**. 2 ed. São Paulo: Qualitymark, 2007.
- LIMA, M. P. **Custos logísticos na economia brasileira**. Revista Tecnológica, COPPEAD, UFRJ, Jan. 2006. p.64-69.
- MAZZALI, L.; MILAN, M. **A Integração Empresa Cliente - Operador Logístico: uma Análise na Cadeia Automotiva**. 2005. Disponível em: [http:// www.scielo.br](http://www.scielo.br), acessado em 22/09/2011.

MIGUEL, P. A. C. , **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 1 ed. Rio de Janeiro .

MIRSHAWKA,V.**Manutenção Preditiva caminho para o Zero defeito**. São Paulo: Makron McGraw-Hill, 1991.

NAGAMUNE, R. **Lecture 2 Fuzzy set**. Vancouver, 2008. 14p.

OMIDEH, Z. T. **Fuzzy Logic Controlo of a magnetic levitation system with hardware omplementation**. Arlington, 2003. 11-.

PINTO, A. K. e XAVIER J. N. **Manutenção: Função Estratégica**. 2 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

REZENDE, S. O. **Sistemas inteligentes. Fundamentos e aplicações**: 2.ed. São Paulo: Manole ltda, 2003

ROSS, T.J. **Fuzzy logic with engineering applications**. Second Edition. West Sussex: John Wiley & Sons LTD,2004. 628p.

SHAW, I.S. SIMÕES, M.G. **Controle e modelagem fuzzy**: 5.ed. São Paulo: Edgard Dlucher ltda, 1999.

SHIMIZU, T. **Decisão nas organizações**: ATLAS, 2.ed. São Paulo, 2002.

SIEMENS, A.G. **Fuzzy Control ++ User's Manual**. Version 5.0 Erlangen, 2003. 191 p.

SLACK N.; CHAMBERS S.; JOHNSTON R. *Administração da Produção*. 2. ed. São Paulo:Atlas , 2002.

VIEIRA, H. A. **Modelo de previsão de priorização de peça de reposição**. 2008. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá 2008.

VIEIRA, J. P. A. **Controladores fuzzy aplicados ao conversor de geradores de indução duplamente excitados em sistemas eólicos integrados a sistemas de potência**. Sba Controle & Automação, Mar 2007, vol.18, no.1.

WAEYENBERGH, G; PINTELON, L. **A framework for maintenance concept development.** International Journal of Production Economics, vol. 77, n. 3, pg. 299-313,2002.

ANEXO I Regras ativadas e área resultante dos exemplos.



Figura 16. Caso 1

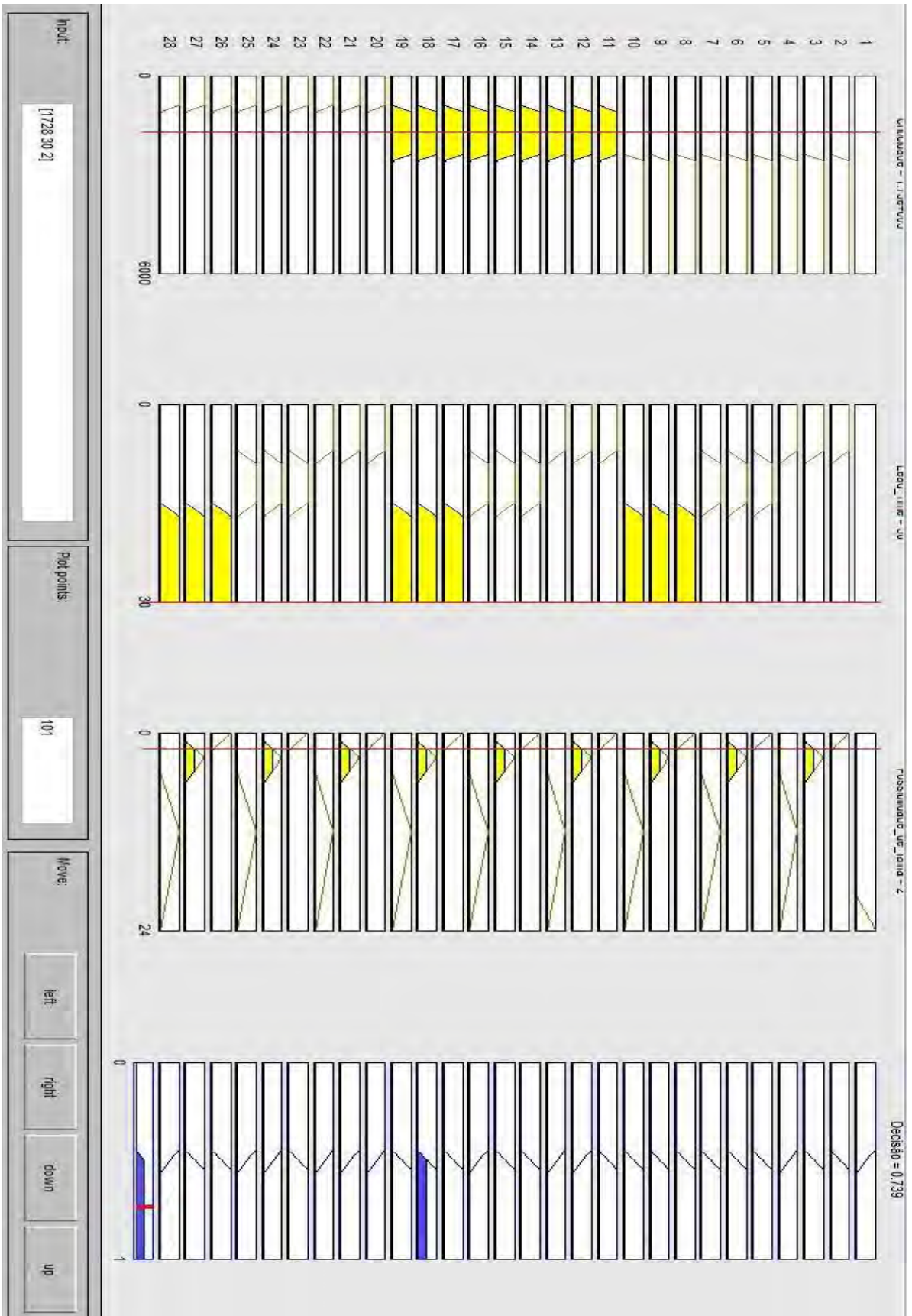


Figura 17. Caso 2

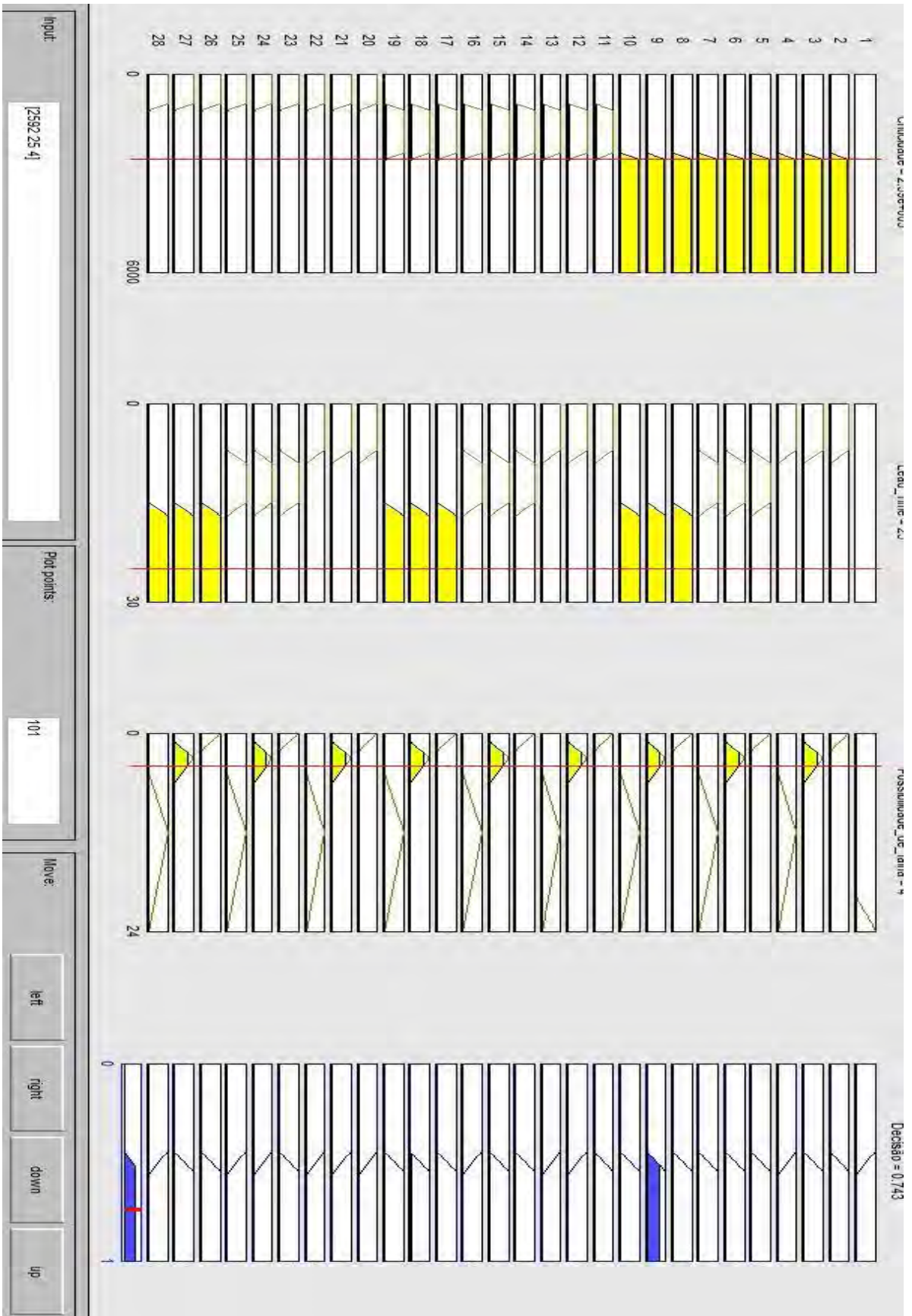


Figura 18. Caso 3

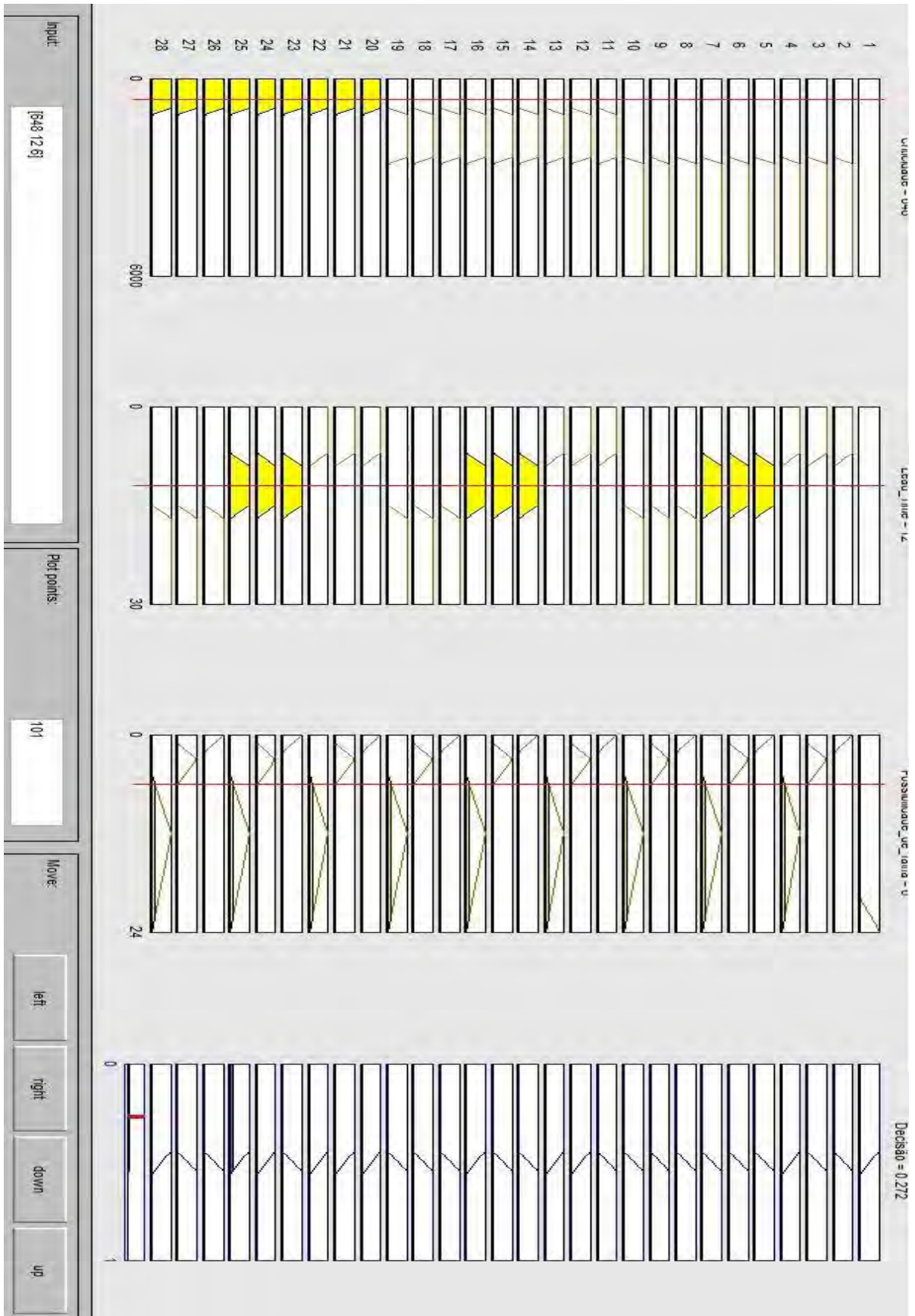


Figura 19. Caso 4