

Sistema para tomada de decisão na mensuração do nível de Produtividade Industrial: estudo desenvolvido com lógica *fuzzy*

E. S. Santos¹ **R. A. Nogueira**¹ **J. C. Leite**²

Rua Maceió, 456 - Adrianópolis
69057-010, Manaus, AM

E-mail: elitonsmith@gmail.com; ranogueira.itegam@gmail.com; jandecy.cabral@itegam.org.br

C. T. C. Júnior²

Rua Augusto Corrêa (Núcleo Universitário)
66075-900, Belém, PA
E-mail: cartav@ufpa.br

Resumo

O presente estudo utiliza a ferramenta computacional para modelagem do raciocínio humano na mensuração do nível produtivo em uma linha industrial de eletro-eletrônico do Pólo Industrial de Manaus (PIM), em que foram identificados vários parâmetros. Dentre os quais selecionados para análise, de acordo com o grau de relevância conforme especialistas, as variáveis: balanceamento, tempo de ciclo, confiabilidade, razão de falhas e capacidade produtiva. Ressaltando ainda que o sistema proposto seja de grande importância para os profissionais da gestão produtiva, os quais almejam resultados que minimizem custos e conseqüentemente maximizem os lucros da organização.

Palavras-chave: *Produtividade, Modelagem Computacional, Lógica Fuzzy*

1. Introdução

O propósito deste artigo é apresentar uma proposta de desenvolvimento de um sistema computacional para a indústria de eletro-eletrônico na avaliação do processo produtivo. Esta aplicação se restringe a uma linha de produção de televisores em uma empresa do PIM.

A industrialização, nestes últimos séculos, proporcionou desenvolvimento extraordinário de novas tecnologias, principalmente na área produtiva. Podemos constatar o desenvolvimento crescente de maquinários automáticos, com aplicação mais freqüente da robótica. Enfatizando ainda a utilização de novas maneiras e metodologias na gestão produtiva, como os sistemas de *Just-in-time* (JIT) [1],[2], *Enterprise Resources Planning* (ERP) [3], *Material Requirements Planning* (MRP I, II) [4],[5], *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) [6], *kaizen* [7], entre outros.

Porém, junto com essa capacidade produtiva, veio também uma competição cada vez mais acirrada entre as empresas desse setor, não bastava apenas ter uma alta capacidade produtiva, pois o mercado exigia cada vez mais qualidade e menor preço pelos produtos oferecidos. A Produção Enxuta (*Lean Production*), desenvolvida e aperfeiçoada pela Toyota, no decorrer dos últimos cinquenta anos, pode através da valorização e desenvolvimento dos trabalhadores do chão de fábrica, ser de grande ajuda para a "sobrevivência" das Indústrias Brasileiras [8].

Com o crescimento industrial, após a década de 60, a produção alcançou resultados exponenciais. E, através dessa nova realidade, houve saturação do mercado nacional, enquanto que o efeito inverso acontecia nos países industrializados, isto é, um decréscimo ou estabilização nos países que antes detinham a hegemonia.

¹ Mestrandos e ²Orientadores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Industriais ITEGAM/ITEC/UFPA.

Em consonância com este novo ambiente globalizado, as indústrias estão buscando maiores e melhores níveis de excelência, pois a sobrevivência da organização dependerá da forma de como está projetando sua estratégia concernente ao modo de interpretar o mercado em meio às mudanças rápidas impostas no dia-a-dia empresarial. Neste contexto, a medição eficiente de desempenho do nível de produtividade torna-se de grande relevância e indispensável para a organização. Diante desta perspectiva a indústria está objetivando, cada vez mais, projeções ascendentes, com níveis de qualidade e produtividade máxima - expectativa e exigência do mercado, sociedade e investidores. O presente estudo propõe desenvolver uma modelagem do raciocínio humano com aplicação da lógica *fuzzy*, tendo o objetivo de sistematizar a mensuração do nível da produtividade em uma linha de produção industrial.

2. Definições

2.1 Lógica Fuzzy

A lógica *fuzzy* é considerada uma técnica que pode resolver problemas de modelagem complexa, focando aspectos que envolvam variáveis quantitativas e qualitativas, interligadas a variações probabilísticas relevantes ou descritas por bases de dados diferentes e incompletas. O processo de decisão se baseia em elementos do pensamento humano, que utilizam variáveis lingüísticas, simulam e replicam esta lógica através, principalmente, de bases comparativas, tais como: *bem melhor*, *mais quente*, *muito longo*; ou tais como: *médio*, *pequeno*, *ruim*, que são termos mais vagos – por serem mais concisos e menos explicativos. Atualmente a lógica *fuzzy* é aplicada em inúmeras formas, principalmente no uso comercial e industrial, como em câmeras e gravadoras para ajustar os mecanismos de foco automático e cancelar os tremores causados por mãos trêmulas; em software para buscar e comparar imagens por certas regiões de pixels de interesse; em ferramenta de pesquisa de mercado que usa em um de seus módulos para determinar o comportamento do mercado; reconhecimento de caracteres, em sistemas óticos; em sistemas de elevadores; aterrissagem de naves espaciais, entre outros.

Os principais requisitos que tornam indicada a utilização da lógica *fuzzy* para o controle de um processo industrial são [9]: inexistência de um modelo do processo a controlar, por ser demasiado complexo ou custoso o desenvolvimento; processo controlado por especialistas humanos; especialistas conseguem verbalizar as regras de controle do processo.

2.2.1 Lógicas: Convencional e Fuzzy

A lógica convencional, ou booleana, tem como propriedade fundamental a função de pertinência bivalente, na qual o atributo da bivalência refere-se à aplicação de dois valores “0” ou “1”: “algo é verdadeiro ou não-verdadeiro, branco ou preto, ou é um ou zero”. A lógica *fuzzy*, ou nebulosa, tem como propriedade fundamental a função de pertinência multivalência.

Em que o atributo da multivalência refere-se à aplicação de vários valores dentro do intervalo {0, 1}: esse elemento pode ser membro parcialmente de um

conjunto, através de um valor fracionário dentro deste mesmo intervalo numérico [10]. Na realidade, o mundo não é bivalente, e sim multivalente, e existe um infinito espectro de opções ao invés de apenas duas. A própria comunicação humana possibilita uma variedade de incertezas na forma de expressões verbais; de forma vaga, imprecisa, e muitas vezes de pouca resolução. A aplicação da mesma palavra com significados diferentes, de forma que “as palavras não representam uma idéia única, mas representam um conjunto de idéias” [10].

O “raciocínio” dos computadores é apenas de forma bivalente, por isso não conseguem compreender os termos da lógica *fuzzy* da comunicação humana. A tecnologia moderna necessita dar soluções a problemas que tem sido vivenciado da experiência humana, com precedentes que expressem de forma vaga, ambígua e qualitativa, isto é, na linguagem *fuzzy*, e não apenas formulados em maneira matemática. O grande diferencial da lógica *fuzzy* está em interligar o conhecimento empírico e a implementação computacional.

3. Modelagem do Sistema Fuzzy

A modelagem deste sistema produtivo utilizou a simulação computacional como ferramenta, tendo como base a lógica difusa; os parâmetros selecionados para análise, conforme níveis de relevância foram: balanceamento, tempo de ciclo, confiabilidade, razão de falhas e capacidade produtiva.

3.1 Funções de Pertinências

As funções de pertinências desenvolvidas para este sistema constam na Tabela 1, a seguir:

Parâmetros Linguísticos (variáveis)	Intervalo Numérico (universo de discurso)	Valor Lingüístico (conjuntos <i>fuzzy</i>)
ENTRADAS		
Balanceamento (B)	[0 20]	(baixo, instável, estável, gargalo)
Tempo de Ciclo (TC)	[0 20]	(baixo, médio, alto)
Confiabilidade (C)	[0 10]	(baixa, média, alta)
Razão de Falhas (RF)	[0 10]	(nula, pequena, média, grave)
Capacidade Produtiva (CP)	[0 10]	(baixa, média, alta)
SAIDAS		
Produtividade	[0 10]	(baixa, média, alta, máxima)

Tabela 1: Funções de Pertinências do Sistema Fuzzy

Na Figura 1 abaixo, a forma sucinta de demonstração, utilizando o método de Mamdani, das cinco principais ferramentas de Interface Gráfica do Usuário (*Graphic User Interface - GUI*) para a construção, montagem, e sistemas de inferência *fuzzy* observado no ambiente da ferramenta do *Fuzzy Logic Toolbox* do *Matlab* [11]:

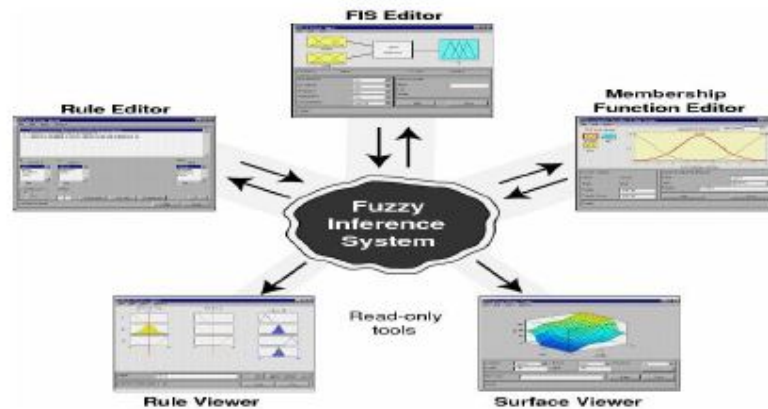


Figura 1: Principais Ferramentas do GUI

Implementação de um sistema fuzzy de produtividade na área do GUI, na Figura 2:

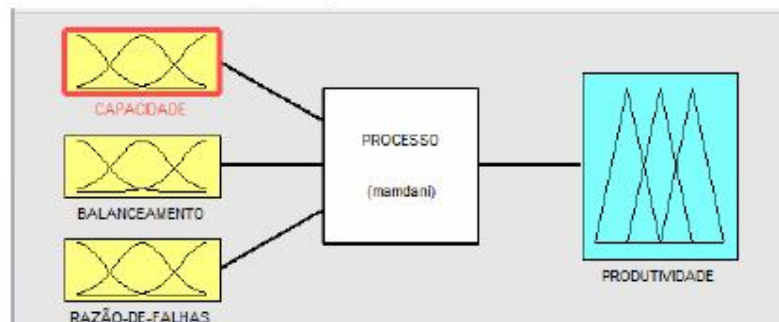


Figura 2: Variáveis Linguística de Entrada e Saída

3.2 Descrição das Variáveis Linguísticas

As variáveis linguísticas representam o conhecimento do especialista em inferência *fuzzy*. Estes parâmetros são denominados de variáveis de entrada e saída do sistema *fuzzy*, os *quais* são representados em termos linguísticos. A variável linguística, diferentemente de uma variável numérica, aceita apenas valores definidos na linguagem *fuzzy* para representar de modo impreciso – e, portanto, linguístico – um conceito ou uma variável de um determinado problema a solucionar. A seguir, podemos visualizar a descrição das variáveis linguísticas deste sistema proposto:

a) Balanceamento (B)

O balanceamento de linha está relacionado ao tempo de ciclo (TC) do produto. O TC é que determina com que frequência uma peça deve ser produzida, ou ainda, o intervalo de tempo para fabricação entre duas peças consecutivas; vemos que o [3]:

TC= tempo de produção/quantidade peças no tempo de produção.

No início havíamos considerado o TC como uma variável lingüística, mas para melhor desenvolver o resultado, optou-se em consolidar o termo tempo de ciclo (TC) como parte do balanceamento (B). Ao identificar o TC, determina-se o número teórico mínimo de operadores para realizar a tarefa(N), $N = \text{tempo total para produzir uma peça na linha} / \text{TC}$. Posteriormente, deve-se verificar o número real de operadores (NR), simulando os trabalhos nos postos e considerando que cada operador não poderá ultrapassar o TC, mas apenas ser menor, no limite ou igual. A medição da eficiência do balanceamento é realizada através da fórmula: $E = N / \text{NR}$

A relevância do Balanceamento no processo produtivo é consideravelmente alta, pois seu efeito é mensurado diretamente no índice da produtividade. A Figura 3 demonstra a fuzzificação da variável de entrada Balanceamento, utilizando dois triângulos denominados de Baixo e Gargalo e duas trapezoidais chamadas de Instável e Estável.

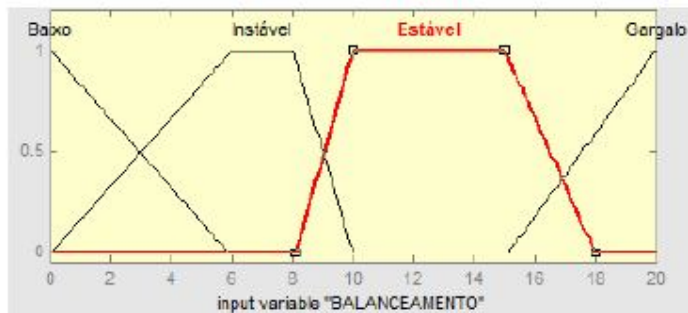


Figura 3: Variável Balanceamento

b) Razão de falhas (RF)

A razão de falhas (RF) é um conceito interligado ao de confiabilidade (C) por mensurar de forma inversa esta variável. A confiabilidade (C) é conceituada como “a probabilidade de que um sistema (equipamento, componente, peça, *software*, pessoa) dê como resposta aquilo que dele se espera” [3]. A razão de falha (RF) é conceituada como “a probabilidade de que um sistema (equipamento, componente, peça, *software*, pessoa) não dê como resposta aquilo que dele se espera”. Onde se consolida a relação lógica de [3]: $(C) + (RF) = 1$.

No presente estudo a variável lingüística C não será considerada explicitamente, pois se optou abordar apenas a RF, pelo fato de interligar dos termos. A relevância da RF no processo produtivo é muito alta, pois seu efeito é mensurado diretamente no índice da produtividade. A Figura 4 demonstra a fuzzificação da variável de entrada razão de falhas (RF), sendo utilizados quatro trapezoidais chamadas de Nula, Pequena, Média e Grave.

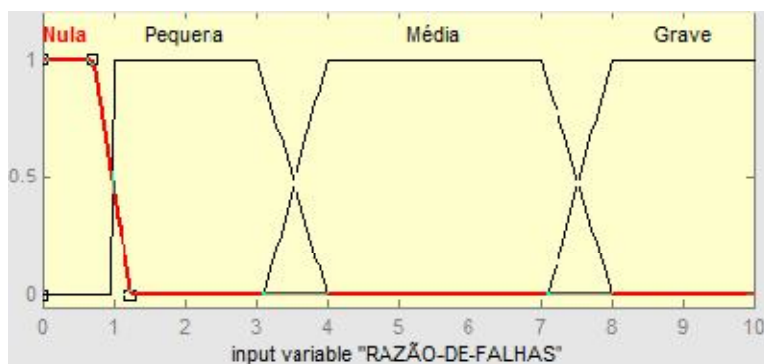


Figura 4: Variável Razão de Falhas

c) Capacidade produtiva (CP)

“A capacidade é a máxima produção (ou saída) de um empreendimento”. Demonstrada ainda “como o nível máximo de atividade de valor adicionado que pode ser conseguido, em condições normais de operação”. Sendo abordada de duas formas [3], pela: capacidade teórica (ou do projeto) e capacidade real (ou efetiva). Além da capacidade produtiva (CP) está relacionada à dimensão tempo, ressalta-se ainda a importância em não confundir o termo capacidade com volume:

- Volume de produção: é a produção atual;
- Capacidade de produção: é a produção máxima.

A CP pode ser definida como o volume máximo potencial de atividade de agregação de valor que pode ser atingido por uma unidade produtiva sob condições normais de operação [12]. Logo, a capacidade define o potencial de execução de atividades produtivas em um ambiente fabril. A obtenção da mensuração da CP pode ser realizada pelo volume de produção possível de ser obtida (ou recursos de saídas), a informação resultante deverá ser padronizada e repetitiva para que tenha valor gerencial. Caso contrário, o mais sensato é realizar a medição pelo volume de insumos (ou recursos de entradas). A relevância da CP no processo fabril é também muito alta, a mensuração desta variável influencia diretamente no índice da produtividade. A Figura 5 demonstra a fuzzição da variável de entrada Capacidade Produtiva, sendo utilizados dois triângulos denominados de Baixa e Alto e um trapezoidal denominado Média.

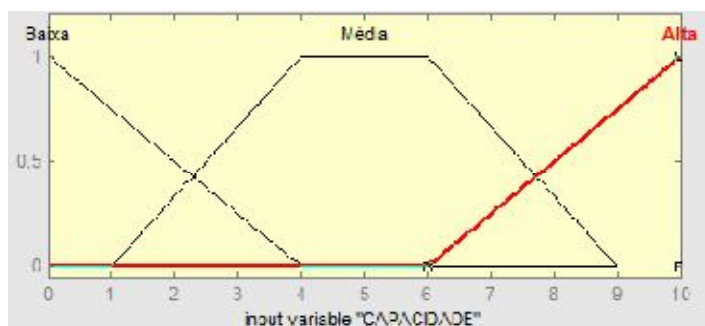


Figura 5: Variável Capacidade Produtiva

d) Produtividade

A produtividade pode ser demonstrada como uma associação entre variáveis de entrada e saída. Na literatura, duas formas de associação foram aplicadas em estudos anteriores na indústria, evidenciando a equação geral [13]:

1. produtividade = saída(output) / entrada(input)
2. produtividade = entrada(input) / saída(output)

Sendo possível mensurar, entre outros:

- Produtividade do trabalho = unidade produzida/ hora trabalhada
- Produtividade do capital = saída / entrada de capital
- Produtividade do material = saída / entrada de material

Ao analisar o processo produtivo, o qual envolve a transformação de entrada(input)/saída(output), conceitua-se produtividade como a “eficiência (e, na medida do possível, a eficácia) na transformação de tais entradas em saídas que cumpram com os objetivos previstos para tal processo” [14], mostrando de forma concisa esta definição na Figura 6:



Figura 6: Processo da Produtividade

Diversas pesquisas, nacional e internacionalmente, têm abordado o assunto produtividade. E, mesmo existindo uma variedade de publicações sobre este tema, o que se constata é uma indefinição acerca da atividade de trabalho e do sistema de mensurar a produção de forma padronizada [13]. A Figura 7 demonstra a fuzzificação da variável de saída Produtividade, sendo utilizados dois triângulos denominados de Média e Máxima e duas trapezoidais denominadas Baixa e Alta.

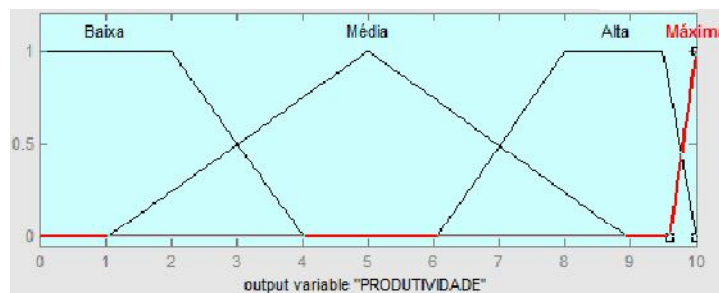


Figura 7: Variável de saída - Produtividade

4. Principal Base de Regras

Demonstração da principal Base de Regras de Inferência das variáveis lingüísticas, aplicadas nesta solução *fuzzy*, na mensuração do nível da Produtividade: Capacidade Produtiva (CP), Balanceamento (B) e Razão de Falhas (RF).

- 1. Se (CP é Baixa) e (B é Baixo) e (RF é Média) então (Produtividade é Baixa)
- 2. Se (CP é Baixa) e (B é Instável) e (RF é Média) então (Produtividade é Baixa)
- 3. Se (CP é Baixa) e (B é Gargalo) e (RF é Média) então (Produtividade é Baixa)
- 4. Se (CP é Média) e (B é Instável) e (RF é Média) então (Produtividade é Média)
- 5. Se (CP é Média) e (B é Instável) e (RF é Pequena) então (Produtividade é Média)
- 6. Se (CP é Média) e (B é Estável) e (RF é Pequena) então (Produtividade é Média)
- 7. Se (CP é Alta) e (B é Instável) e (RF é Média) então (Produtividade é Média)
- 8. Se (CP é Alta) e (B é Estável) e (RF é Pequena) então (Produtividade é Alta)
- 9. Se (CP é Média) e (B é Estável) e (RF é Grave) então (Produtividade é Baixa)
- 10. Se (CP é Baixa) e (B é Instável) e (RF é Pequena) então (Produtividade é Baixa)
- 11. Se (CP é Alta) e (B é Estável) e (RF é Grave) então (Produtividade é Baixa)
- 12. Se (CP é Baixa) e (B é Estável) e (RF é Pequena) então (Produtividade é Baixa)
- 13. Se (CP é Alta) e (B é Estável) e (RF é Nula) então (Produtividade é Máxima)
- 14. Se (CP é Alta) e (B é Gargalo) e (RF é Nula) então (Produtividade é Média)
- 15. Se (CP é Alta) e (B é Baixo) e (RF é Nula) então (Produtividade é Baixa)
- 16. Se (CP é Baixa) e (B é Estável) e (RF é Média) então (Produtividade é Baixa)

Na Figura 8 podemos visualizar as Regras de Inferência das variáveis lingüísticas, via sistema *Fuzzy*, no Matlab:

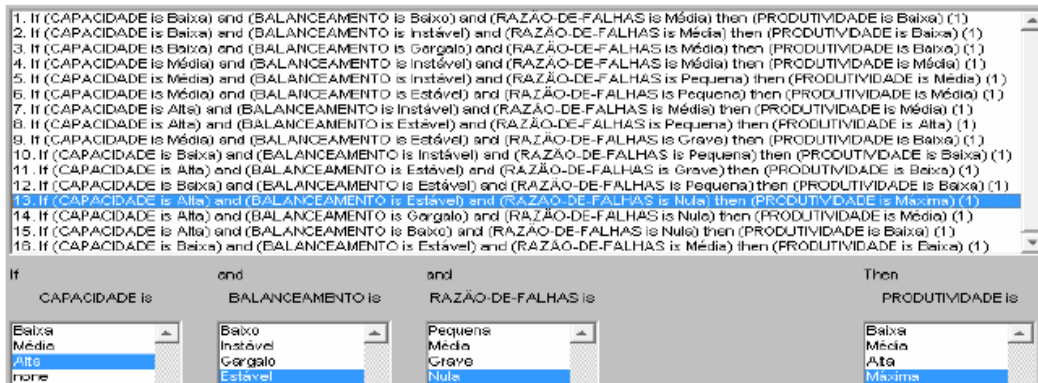


Figura 8: Principal Base de Regras de Inferência das variáveis lingüísticas

5. Análise de Resultados

Os dados do visualizador de regra nos permitem interpretar o processo de inferência *fuzzy* todo de uma vez, de forma concisa. Também é demonstrada a adesão de certas funções, que influenciam o resultado global de cada regra e o resultado do sistema proposto. As variáveis de entrada foram obtidas por intermédio da análise conjunta de pesquisadores e especialistas, foi modelado o ambiente do processo produtivo em estudo. Os valores foram aplicados em função das ações previstas na mensuração eficiente de desempenho do nível de produtividade, como em informações de processos empíricos de períodos anteriores, para validar o método. O resultado da modelagem final corresponde assim a: uma capacidade produtiva máxima, com o balanceamento da linha

estável e ocorrência de falhas menor que uma durante o processo de fabricação, proporcionando assim o resultado máximo.

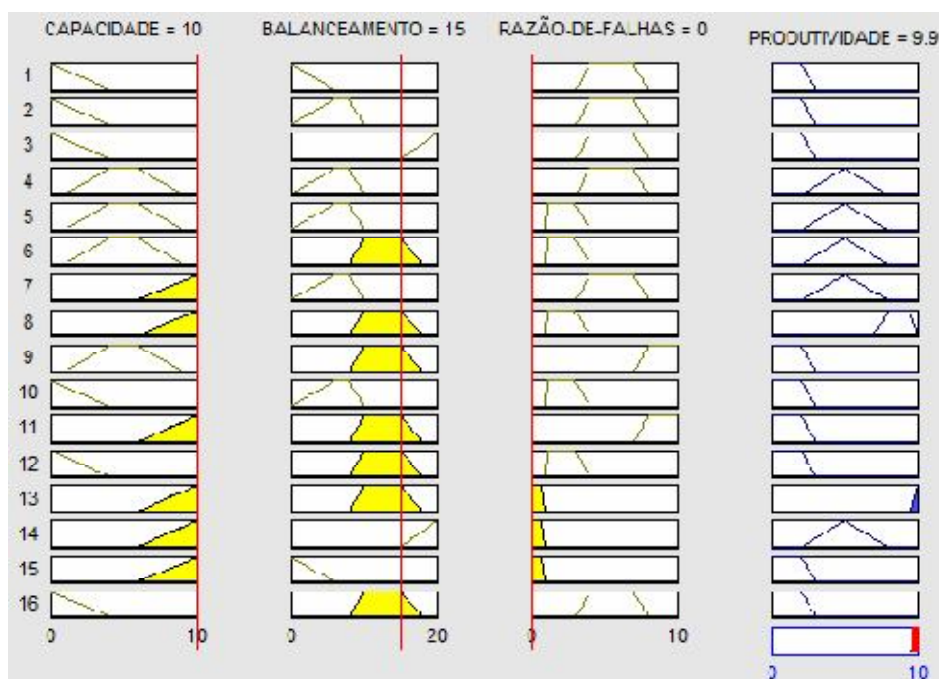


Figura 9: Resultado demonstrando o processo de inferência

Conforme demonstrado na Figura 9, podemos visualizar o quadro máximo de produtividade em 9.9, o qual resultou em índice relevante na modelagem. Este desempenho será alcançado, quando as variáveis: capacidade, balanceamento e razão de falhas estiverem respectivamente no intervalo {10, 15, 0}.

6. Considerações Finais

A aplicação da simulação computacional, através da lógica *fuzzy*, mostrou-se eficiente e de utilização relativamente pouco complexa com suporte de especialistas, pois proporcionou o desenvolvimento de um sistema de mensuração de processos no que concerne ao nível de produtividade.

Deste modo, foi possível verificar a utilidade do sistema *fuzzy* proposto, conferindo ao estudo caráter científico, com importância na orientação em pesquisas futuras e de contribuição relevante na mensuração da produtividade industrial, o qual é um fator primordial na tomada de decisão para o crescimento e desenvolvimento do processo produtivo e conseqüentemente da organização. Como complementação deste estudo, propõe-se a aplicação de tecnologia avançada como novo parâmetro do processo para análise. E, para o desenvolvimento de trabalhos futuros, sugere-se realizar projeções de produtividade a curto e médio prazo com objetivo de prognosticar resultados, proporcionando suporte a tomada de decisão quanto a ações necessárias para alcançar metas e objetivos de produtividades previstas.

AGRADECIMENTOS: ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia –ITEGAM pela oportunidade do convênio com a Universidade Federal do Pará - UFPA através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Industriais e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas - FAPEAM pelo apoio financeiro ao PPGEEUFPA²

Referências

- [1] WANTUTUCK. KENNETH A. “The Japanese Approach to Productivity” Southctivity, MI: Bendix Corporation, 1983.
- [2] ZIPKIN, Paul H. “Does a JIT Revolution?” Harvard Bussiness Review: janeiro-fevereiro de 1991. P. 41.
- [3] MARTINS, P. G. & LAUGENI, F. P. *Administração da Produção*. 2. ed. Editora Saraiva, São Paulo, 2005.
- [4] DAVIS, Mark M; AQUILANO, Nicholas J.; CHASE, Richard B. *Fundamentals of operations Management*. 3a ed. The McGraw-Hill Companies, Inc. NY, NY, USA, 1999.
- [5] WIGHT, Oliver. *The executive’s Guide to Succesful MRP II* (William, VT: Oliver Wight Limited Publications, 1982. p. 6-17.
- [6] CLAUSING, D. The design. In: *Total quality development: a setp-by-step guide to worldclass concurrent engineering*. 2. ed., NY, U.S.A, The American Society of Mechanical Engineers. Chapter 5, p. 175-273, 1994.
- [7] HALL, Robert W. *Attaining Manufacturing Excellence* (Homewood, Il: DOW-IRWIN, 1997. P. 91-94.
- [8] GHINATO, P. *Sistema Toyota de Produção - Mais do que Simplesmente Just-In-Time*. Editora da Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 1996.
- [9] KACPRZYK, J. *Multistage fuzzy control*. Chichester, UK: John Wiley Sons, 1997.
- [10] SIMÕES, M. G.; SHAW I. S. *Controle e modelagem fuzzy*. 2. ed., São Paulo, Editora: Blucher: FAPESP, 2007.
- [11] FUZZY LOGIC TOOLBOX USER`S GUIDE - *For Use with MATLAB*, version 7.8.0,2009.
- [12] CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. *Administração de Produção e Operações – Manufatura e Serviços: uma abordagem estratégica*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

[13] PARK, H.; THOMAS, S.R.; TUCKER, R.L. *Benchmarking of construction productivity*. Journal of Construction Engineering and Management, Reston, v.131, n.7, p. 772-778, July 2005.

[14] SOUZA, U.E.L. *Como aumentar a eficiência da mão-de-obra: manual de gestão da produtividade na construção civil*. São Paulo: Pini, 2006.