NOVA PROPOSTA PARA SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO COM LÓGICA FUZZY, USANDO A MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO DO PRODUTO COMO FATOR PREPONDERANTE

Carlos Americo de Souza Silva (ITEGAM)
camericoss@hotmail.com
Jandecy Cabral Leite (ITEGAM)
jandecy.cabral@itegam.org.br
Carlos Tavares da Costa Junior (UFPA)
cartav@ufpa.br

As regras de sequenciamento de produção tem o objetivo de atender o planejamento mestre de produção e o presente artigo visa demonstra uma nova proposta de regra de sequenciamento utilizando a lógica fuzzy como ferramenta de apoio tomando ccomo base o produto com a maior margem de contribuição na cadeia produtiva da organização. A finalidade principal do sistema proposto é auxiliar os profissionais da área de planejamento industrial a determinar os produtos que devem ser priorizados na linha de produção baseados nas características de fabricação, tais como: prazo de entrega, tempo de ciclo, processo de produção e margem de contribuição, criando um planejamento de produção mais adequado à realidade da organização, ou seja, otimizando os recursos existentes e aumentando os lucros. O método utilizado consistiu, primeiramente, no levantamento dos fatores que influenciam o sequenciamento, no conhecimento da lógica fuzzy e nos casos similares estudados em literatura, desta forma, criou-se a nova metodologia. Os resultados obtidos consistiram na avaliação mais eficiente do sequenciamento de produção dos produtos com o maior valor agregado, além da visualização do uso da lógica fuzzy dentro da área de planejamento de produção, com estes resultados é possível avaliar os impactos na cadeia produtiva, deixando os programadores de produção com fortes subsídios na tomada de decisões estratégicas dentro do ambiente de manufatura.

Palavras-chaves: Lógica fuzzy, sequenciamento, margem de contribuição, planejamento e controle da produção

1. Introdução

No atual mundo competitivo, o profissional da área de planejamento de produção acaba lidando constantemente com muitas variáveis conflitantes, tais como: o cumprimento de prazos; atendimento de clientes preferenciais, manutenção dos estoques baixos, gerenciando a sazonalidade frequente de clientes, fornecedores e outros agentes da cadeia produtiva.

Baseado neste ambiente dinâmico propõe-se o desenvolvimento de um modelo utilizando a lógica *fuzzy*, com intuito de criar uma nova abordagem no sequenciamento da produção, ou seja, usar um critério que está relacionado à margem de contribuição de cada produto desta organização, mudando o foco dos sequenciamentos existentes.

Seja a abordagem do carregamento finita ou infinita, quando o trabalho chega, decisões devem ser tomadas sobre a ordem em que as tarefas serão executadas. Essa atividade é denominada sequenciamento (SLACK *et al*., 2009).

Teoria de conjuntos *fuzzy* tem sido estudada extensivamente nos últimos 30 anos e tem sido empregada com sucesso para exprimir conhecimento impreciso e resolver problemas em muitas áreas onde a modelagem convencional é difícil, ineficiente ou onerosa. A possibilidade de descrição linguística do modelo, ao invés da utilização das equações diferenciais, possibilita o aproveitamento do conhecimento heurístico dos operadores e facilita o desenvolvimento de soluções.

A importância desta pesquisa se justifica pela introdução de um conceito atual na Manufatura, utilizando recursos tecnológicos para ajudar os gestores na tomada de decisões de uma empresa do Pólo Industrial de Manaus, qual tem como o foco produtos eletroeletrônico, que são caracterizados pelo seu alto valor agregado, curto ciclo de vida e demanda volátil. Outra motivação é a busca do melhor ambiente de produção, ou seja, conseguir os melhores resultados com os equipamentos/recursos existentes.

Segundo Tubino (2007), as empresas geralmente são estudadas como um sistema que transforma, via um processamento, entradas (insumos) em saídas (produtos) úteis aos clientes. Este sistema é chamado de sistema produtivo.

2. Procedimentos Metodológicos

No que se refere à pesquisa científica, Yin (2005) afirma existirem as abordagens de experimento, levantamento, análise de arquivos, pesquisa histórica e participante ou estudo de caso, como instrumento para a condução da mesma. A estratégia da pesquisa dependerá do tipo da questão da pesquisa; do grau de controle que o investigador tem sobre os eventos investigados; do foco temporal, onde comportamentos contemporâneos são comparados a acontecimentos históricos.

De acordo com Gil (2002), para se atingir os objetivos pretendidos com a investigação são necessários alguns passos: formulação do problema; definição das hipóteses; definição do tipo da pesquisa; coleta de dados; analise dos resultados; revisão final e redação.

Deste modo, a metodologia de pesquisa descritiva visa traçar o Planejamento e Controle da Produção, Sequenciamento, Margem de Contribuição e Lógica *Fuzzy*, será qualitativa, por buscar evidências do assunto apresentado através de um estudo de caso real; exploratória, por buscar aprofundamento de conhecimento no que se refere ao tema de lógica *fuzzy* e sequenciamento da produção e seus métodos de solução é quantitativa, por se pautar no

sistema computacional para obtenção de respostas às questões da pesquisa. Bibliográfica, porque foi fundamentada em livros, trabalhos publicados sobre o Planejamento e Controle da Produção e Lógica *fuzzy*, estratégico como ferramenta imprescindível na busca de respostas às perguntas do estudo.

A pesquisa qualitativa coleta seus dados no ambiente natural. Merriam (1998) considera que a preocupação básica é entender o fenômeno sobre a perspectiva dos participantes, onde o pesquisador é o instrumento primário para a coleta e análise dos dados.

Gil (2002) considera que cada pesquisa possui um delineamento próprio, determinado pelo objeto de estudo, pela dificuldade na obtenção de dados, pelo nível de precisão exigido, pelas limitações próprias do pesquisador.

3. Planejamento e Controle da Produção - PCP

O PCP é um elemento central na estrutura administrativa de um sistema de manufatura, passando a ser um elemento decisivo para a integração da manufatura. Em Russomano (2000) determina o PCP como um elemento decisivo na estratégia das empresas para atender a necessidade dos consumidores com qualidade e confiabilidade.

Conforme Slack *et al.* (2009), "a administração da produção trata da maneira pela qual as organizações produzem bens e serviços". Segundo esses autores, qualquer operação produz bens e serviços, ou um misto dos dois, e faz isso por um processo de transformação, entendendo-se por transformação o uso de recursos para mudar o estado ou condição de algo de modo a gerar bens ou serviços a ser consumido.

Gaither e Frazier (2005) usam o termo "administração da produção e operações" ao tratarem do assunto e defendem com a administração do sistema de produção de uma organização, o qual transforma insumos nos produtos e serviços da mesma. Nessa perspectiva, os autores caracterizam sistema de produção como sendo composto por um conjunto de entradas (informações e recursos), em subsistema de transformação e pelas saídas resultantes (produtos/serviços e demais resultados tangíveis e intangíveis).

O "Planejamento e Controle da Produção" consiste na atividade que estabelece o plano operacional para administração da produção, preocupando-se em gerenciar as atividades da operação produtiva de modo a satisfazer a demanda dos consumidores operando continuamente (SLACK *et al.* 2009).

3.1 Plano Mestre da Produção

O planejamento agregado precisa ser desagregado para algumas linhas individuais, a esse processo dá-se o nome de planejamento mestre de produção. O *Master Production Schedule* (MPS) desmembra os planos produtivos estratégicos de médio prazo direcionando as atividades operacionais (TUBINO, 2007).

O MPS é difícil de ser elaborado, principalmente quando se utiliza o mesmo centro de trabalho para diversos produtos, o processo é conduzido por tentativas (MOREIRA, 2004). A condução do processo por tentativas torna difícil a sua elaboração, exigindo um nível de conhecimento adequado por parte de quem elabora o planejamento mestre de produção.

O MPS trabalha com o tempo em duas dimensões. Uma é a determinação da unidade de tempo para cada intervalo do plano, outra é a amplitude, ou horizonte, que o plano deve abranger em sua análise. A determinação da variável tempo é importante para que o MPS cumpra com sua finalidade, causando impacto direto na desagregação do planejamento agregado, na gestão de materiais e na programação da produção (TUBINO, 2007).

3.2 Sequenciamento da Produção

Para Bitran e Tirupati (1993), o nível de decisão tático trabalha com informações dependentes do ambiente externo a empresa, logo não ha um controle e previsibilidade das informações. O nível operacional trabalha com informações internas da empresa, de modo que existe um controle da empresa sobre estas informações. A integração possibilita a determinação, em nível tático, de tamanhos de lotes de produtos e suas respectivas datas de entrega em coerência com as possibilidades de sequenciamento dos produtos em nível operacional.

Em Loveland *et al.* (2007) determina-se um modelo que comunica as decisões de nível tático com decisões de nível operacional buscando estabelecer uma melhor comunicação e organização do chão de fabrica. Este problema consiste em determinar a melhor forma de alocar produtos e demandas em linhas paralelas e em conjunto com o sequenciamento da linha de produção, buscando uma otimização combinada.

Em Toso e Morabito (2005) é proposta uma abordagem para otimizar o problema de dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção em uma indústria de fabricação de ração. O problema consiste em decidir quanto produzir de cada produto em cada período, considerando a sequência de produção dos lotes, de maneira a satisfazer a demanda e minimizar os custos de produção e estoques.

Silva (2010) enfatiza que o sequenciamento de lotes baseados na margem de contribuição como fator preponderante, que ordens de produção que estão sendo sequenciadas e priorizadas são as melhores opções para os acionistas da organização, pelo fato de terem priorizados os produtos com a maior margem de contribuição.

As regras de sequenciamento, mais empregadas na prática estão apresentadas na Tabela 1. Cada uma delas tem sua aplicabilidade restrita à determinada situação de fábrica, pois não existem regras de sequenciamento que sejam eficientes em todas as situações, contudo, elas serão tão eficientes quanto for o planejamento mestre da produção e a utilização equilibrada dos recursos produtivos, via análise da capacidade de produção de médio prazo (TUBINO, 2007).

Sigla	Especificação	Definição
PEPS	Primeiro que entra primeira que sai	Os lotes serão processados de acordo com sua chegada no recurso.
MTP	Menor tempo de processamento	Os lotes serão processados de acordo com os menores tempos de processamento MP recurso.
MDE	Menor data de entrega	Os lotes serão processados de acordo com as menores datas de entrega.
IPI	Índice de prioridade	Os lotes serão processados de acordo com o valor da prioridade ao cliente ou ao produto.
ICR	Índice critico	Os lotes serão processados de acordo com o menor valor de: $= \frac{datadeentrega - dataatual}{tempodeprocessamento}$
IFO	Índice de folga	Os lotes serão processados de acordo com o menor valor de: $= \frac{datadeentrega - \sum tempoprocessamentorestamte}{numerodeoperacaorestamte}$
IFA	Índice de falta	Os lotes serão processados de acordo com o menor valor de: quantidade em estoque / taxa de demanda.

Fonte: Tubino, (2007)

Tabela 1**:** Regras de sequenciamento em processos em lotes

A regra PEPS é a mais simples delas, sendo empregada normalmente em sistemas de serviços onde o cliente esteja presente e percebe a sua posição em relação à fila de espera. Esta regra

faz com que lotes com tempos longos retardem toda a sequência de produção, gerando tempo ocioso nos processos à frente, fazendo com o que tempo de espera médio dos lotes seja elevado (TUBINO, 2007).

A regra MTP obtém um *lead time* médio baixo, reduzindo os estoques em processos, agilizando o carregamento das máquinas à frente e melhorando o nível de atendimento ao cliente. Como ponto negativo, a regra MTP faz com que ordens com tempos longos de processamento sejam sempre preteridas, principalmente se for grande a dinâmica de chegada de novas ordens com tempo menores (TUBINO, 2007).

A regra MDE, como prioriza as datas de entregas dos lotes, faz com que os atrasos se reduzam o que é conveniente em processos que trabalham sob encomenda. Porém como não leva em consideração o tempo de processamento, pode fazer com que lotes com potencial de conclusão rápido fiquem aguardando. Nos processos repetitivos em lotes, onde se trabalha com estoques, as vantagens em priorizar apenas as datas de entrega não são muita clara. Da mesma forma, a regra IPI, baseada em atribuir um índice de prioridade em cada ordem, apresenta a mesma características da MDE, sendo conveniente emprega-la apenas como critérios de desempate para outra regra que leve em consideração a situação ou custo do sistema produtivo (TUBINO, 2007).

As demais regras (ICR, IFO, IFA) baseadas em cálculos de índices normalmente são empregadas em sistemas informatizados de sequenciamento, dentro de ERP corporativos, que se encarregam de gerar prioridades para as ordens calculadas pelo módulo MRP (TUBINO,2007).

No que se refere às regras de sequenciamento em processos repetitivos de lote em lotes, um conceito importante é o de gargalo. Gargalo é um ponto do sistema produtivo que limita sua atuação, sendo que todos os sistemas produtivos têm limitações (internas ou externas). De forma geral, se o sistema produtivo tem capacidade de produção imediata para atender a demanda, o gargalo esta no mercado.

3.3 Margem de Contribuição

A finalidade principal do emprego do conceito do custeio variável na execução dos procedimentos da contabilidade de custos parece ser a revelação da margem de contribuição, ou contribuição marginal. A margem de contribuição é a diferença entre a receita de vendas e o custo variável de produção. A receita pode ser tanto dos produtos quanto dos serviços ou de qualquer outro objeto de custeio. Para Horngren (2000), a margem de contribuição tem um papel importante no auxílio à gerência na tomada de decisões de curto prazo.

Conforme Martins (2003), “A margem de contribuição, tem a faculdade de tomar bem mais facilmente visível a potencialidade de cada produto, mostrando como cada um contribui, primeiramente, amortizar os gastos fixos e, depois, formar o lucro propriamente dito”.

Alem de facilitar a analise do desempenho de um produto, Martins (2003), adiciona algumas vantagens na utilização da margem de contribuição:

a) Os índices de margem de contribuição podem auxiliar a administração a decidir sobre quais produtos devem merecer maior ou menor esforço de vendas.

b) As margens de contribuição são essenciais para as decisões de abandonar ou não uma linha de produtos.

c) As margens de contribuição podem ser usadas para avaliação de alternativas de preço de venda.

4. Lógica Fuzzy

A lógica *fuzzy* foi publicada por Zadeh em 1965, utilizando como base a teoria dos conjuntos (clássica). O objetivo era tratar o aspecto vago da informação, ou seja, os aspectos como a imprecisão, ambiguidade e incerteza, que são características do pensamento. Zadeh (1988) defende que um computador não pode resolver problemas complexos a menos que possa pensar de maneira característica a um ser humano na tomada de decisões.

Conforme Almeida e Evsukoff (2003), o termo *fuzzy* ao ser traduzido da língua inglesa pode ter vários significados conforme o contexto de interesse, todavia, o conceito básico deste termo, passa sempre pelo vago, indistinto, incerto. Na área da engenharia, embora ainda não seja uma unanimidade, a tradução para o português mais utilizado é nebuloso e difuso.

A lógica *fuzzy* manuseia perfeitamente expressões verbais, imprecisas, qualitativas inerentes da comunicação humana, que possuem vários graus de incerteza e pode sistematicamente traduzir os termos *difusos* da comunicação humana em valores compreensíveis por computadores (TURBAN e ARONSON, 2001).

Genericamente, um sistema *fuzzy* é composto de quatro componentes conforme especificado na Figura 1, descrita por LIN-XIN (1997):

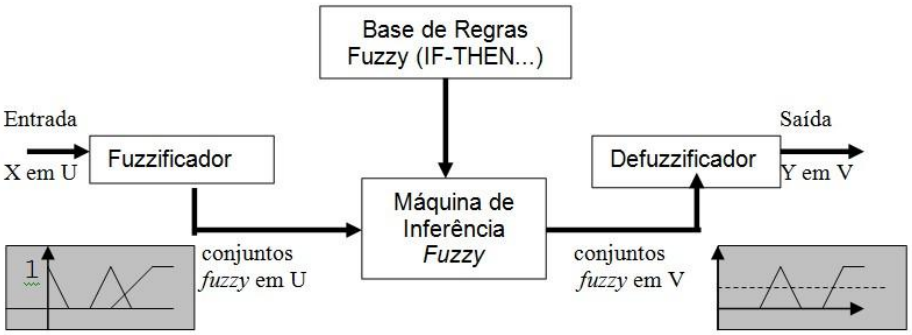

Figura 1: Organização básica de um sistema *fuzzy*
Fonte: Adaptada de Lin-Xin, (1997).

4.1 Sistemas *Fuzzy*

O sistema *fuzzy* é também conhecido como sistema especialista *fuzzy*, sistema *fuzzy* baseado em regras, memórias associativas e sistema de inferência *fuzzy* (HAJI e ASSADI, 2009). Sistema baseado em regras fuzzy contém quatro componentes: um processador de entrada que realiza a *fuzzificação* dos dados de entrada, um sistema de regras, uma maquina inferência e um processador de saída que fornece um vetor de saída.

4.1.1 Fuzzificador

O módulo de *fuzzificação* efetua um mapeamento entre os valores numéricos das variáveis de entrada do sistema para os graus de compatibilidade com conceitos linguísticos. A atuação de um especialista na área do fenômeno é de fundamental importância para colaborar na construção das funções de pertinências para a descrição das entradas (BARROS e BASSANEZI, 2010).

Diferentes abordagens de determinação de regras e funções de pertinência têm sido descritas na literatura. Conhecimentos de especialistas e *brainstorming* são as mais populares e aceitas na pratica, enquanto outras técnicas, como meta regras e sistemas de classificação *fuzzy*, que

utilizam algoritmos genéticos ou rede neurais artificiais, são aplicáveis quando o conhecimento do especialista não esta disponível (BASTIAN, 2000).

A *fuzzificação* é necessária quando há atribuição de valores linguísticos, descrições vagas e qualitativas, definidas por funções de pertinências as variáveis de entrada. A *fuzzificação* é uma espécie de pré-processamento de categorias ou classes de sinal de entrada, reduzindo grandemente o número de valores a serem processados (SIMÕES e SHAW, 2007).

4.1.2 Base de Regras

O modo mais comum de armazenar informações em uma base de conhecimento *fuzzy*, conforme Almeida e Evsukoff (2003) são as representações por meio de regras de produção *fuzzy*. As regras de produção normalmente são compostas de duas partes principais:

SE <*situação*> ENTÃO <*ação*>

A parte SE da regra compõe um conjunto de condições que, quando satisfeitas, mesmo parcialmente, determinam o processamento da *ação*, parte ENTÃO da regra, através de um mecanismo de inferência *fuzzy*, ou seja, ativa uma regra.

A base de regras desempenha o papel de relacionar logicamente as informações que formam a base de conhecimento do sistema *fuzzy*. De maneira geral pode-se afirmar que quanto mais precisas forem tais informações, menos *fuzzy* serão as relações *fuzzy* que representam a base de conhecimento (BARROS e BASSANEZI, 2010).

4.1.3 Maquina de Inferência

A máquina de inferência realiza o processamento *fuzzy* propriamente dito. Nesse bloco, cada proposição *fuzzy* é traduzida matematicamente por meio das técnicas de "raciocínio aproximado", ou seja, as operações de conjunto *fuzzy* (BARROS e BASSANEZI, 2010).

De um modo geral, os seguintes critérios devem ser considerados para escolha da máquina de inferência (LIN-XIN, 1997):

a) Apelo Intuitivo - a escolha pode ser feita de modo intuitivo, por exemplo, um especialista humano fornece um conjunto de regras que ele acredita serem independentes umas das outras, então elas podem ser combinadas com a união.

b) Eficiência Computacional - calculada por uma fórmula bastante simples.

c) Propriedades Especiais - algumas escolhas podem resultar em uma máquina de inferência que tem propriedades especiais, se essas propriedades são desejáveis então faremos esta escolha.

4.1.3.1 O Método de *Mamdani*

Mamdani e Assilian (1975) propõem um método de inferência que foi por muitos anos um padrão para a utilização dos conceitos da lógica *fuzzy* em processamento de conhecimento. As regras de produção em um modelo de *Mamdani* possuem relações *fuzzy* tanto em suas *situações* como em suas *ações.*

Para visualização da metodologia, pode ser verificado graficamente o método de *Mamdani*, conforme as Figuras 2 e 3.

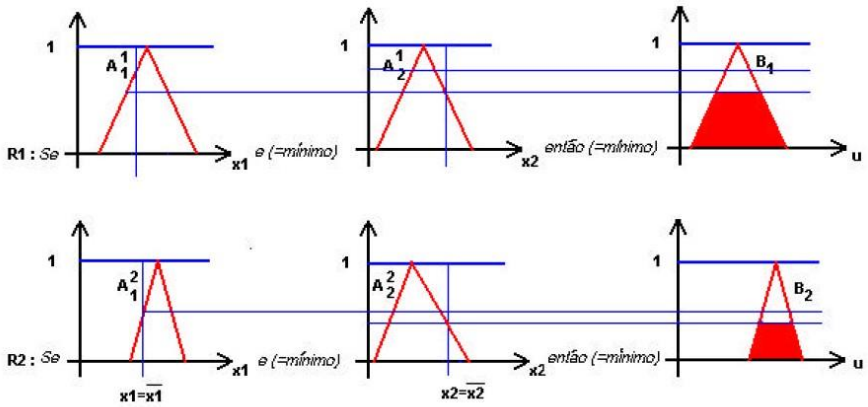

Figura 2: Método de *Mamdani* com composição *max-min*

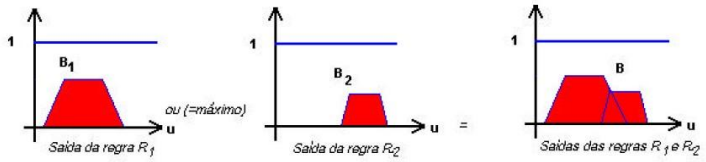

Figura 3: Representação da Saída do Método de *Mamdani*

4.1.4. *Defuzzificador*

O modulo de *Defuzzificação* transforma o conceito linguístico, obtido pelo procedimento de inferência, em um valor numérico definido, o qual é utilizado como saída efetiva do sistema *fuzzy* (BARROS e BASSANEZI, 2010).

Método centro de área ou centróide (CoA): baseia-se no cálculo do centro de gravidade de função de associação. No método do centro de gravidade, calcula-se a área da curva da variável linguística de saída produzida pela máquina de inferência, e acha-se o índice correspondente que divide esta área a metade. A Figura 4 ilustra o gráfico do CoA.

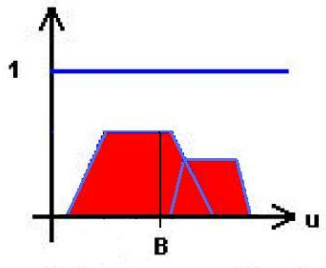

Figura 4: Defuzzificador centro de gravidade CoA

5. Desenvolvimento da Proposta para Sequenciamento com Lógica *Fuzzy*

Na pesquisa utilizaram-se dados reais de produção e da parte da contabilidade de custo para descrever a estrutura do modelo proposto de inferência *fuzzy* para uso no auxilio do sequenciamento de produção. A vantagem deste modelo é a possibilidade de geração de regras automáticas para variáveis de entrada, e a criação das possíveis combinações entre as funções de pertinência e as variáveis. A ferramenta utilizada para o desenvolvimento do modelo *fuzzy* é o *Matlab*, por meio do *Toolbox Fuzzy Logic*, (2010a).

Levando em consideração todos os fatores citados na revisão bibliográfica, foram mapeados vários dados dentro da empresa, assim como outros considerados relevantes para na escolha entre o tipo de produto a ser produzido. Baseado nesta realidade foi definido para este modelo

as variáveis que irão compor modelo, estes estão relacionados e explicados Tabela 2, que darão origem às funções de pertinência para o modelo proposto:

Variáveis Linguísticas	*Universo de discurso*	*Conjuntos fuzzy*
ENTRADAS:		
* Prazo de Entrega (PE)	[0 30]	(curto, médio, longo)
* Tempo de Ciclo (TC)	[0 30]	(baixo, médio, alto)
* Processo de Produção (PP)	[0 30]	(simples, difícil)
* Margem de Contribuição (MC)	[0 30]	(baixo, médio, alto)
SAÍDA:		
* Prioridade de Produção (Priorprod)	[0 90]	(Prod A, ProdB, ProdC)

Tabela 2**:** Variáveis linguísticas de entrada e saída

5.1 Variável de Entrada: Prazo de Entrega e Tempo de Ciclo

A variável (PE) prazo de entrega identificam os prazos de entregas das ordens de produção dos produtos, estes prazos são acordados de acordo com a negociação de vendas. As datas são atualizadas constantemente pelo departamento comercial e planejamento de produção, parâmetro é considerado relevante, pois quando o prazo for curto, independentemente de outros fatores, deve ser obedecida à prioridade do produto que foi negociado. Quando o prazo for médio e/ou longo, neste modelo terá prioridade o produto com maior margem de contribuição. Na Figura 5 mostra a função de pertinência do prazo de entrega.

A variável (TC) tempo de ciclo corresponde ao tempo necessário para execução de uma peça, ou seja, o tempo transcorrido entre a repetição do inicio e fim da operação. Essa variável linguística é considerada relevante, pois representa o tempo de processamento do produto, desta forma todo o processo de fabricação influencia neste item. Os processos foram mapeados e classificados pelos pesquisadores e especialistas. Na Figura 6 mostra a função de pertinência do tempo de ciclo.

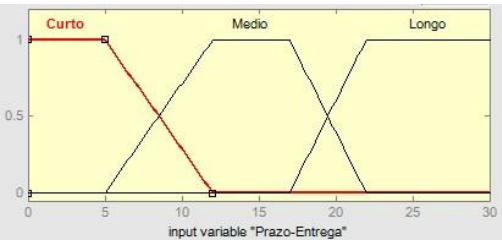

Figura 5: Variável – PE

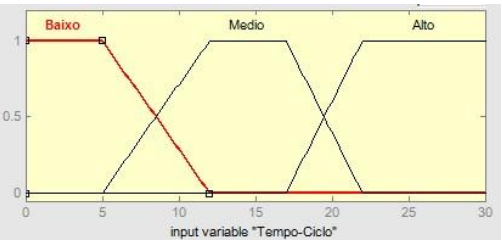

Figura 6: Variável – TC

5.2 Variável de Entrada: Processo de Produção e Margem de Contribuição

A variável (PP) processo de produção é importante, pois representa à maneira na qual cada produto é montado na estrutura fabril. Na Figura 7 tem a função de pertinência do processo de produção.

A variável (MC) margem de contribuição é muito relevante, visto que o modelo proposto é específico para este parâmetro em conjunto com os prazos de entrega forem maiores, principalmente que com esta informação é possível identificar qual o produto é mais rentável para organização. Este levantamento é de extrema importância na contabilidade de custo da empresa. Na Figura 8 mostra a função de pertinência da margem de contribuição, três trapezoidais – denominados Baixo, Médio e Alto.

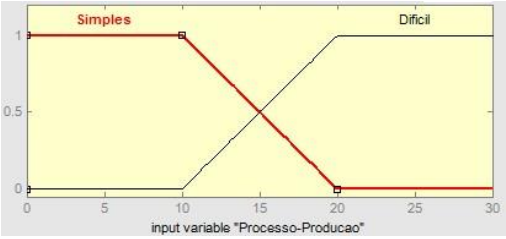

Figura 7: Variável – PP

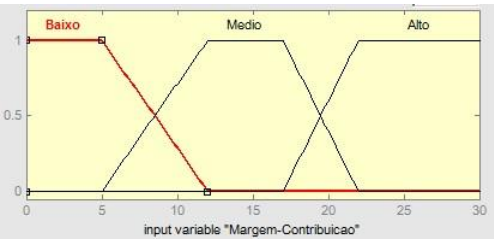

Figura 8: Variável – MC

5.3 Variável de Saída: Prioridade de Produção e Modelo Proposto *Fuzzy*

A variável (PriorProd) prioridade de produção é o modelo proposto, na qual irá identificar a prioridade de produção, ou seja, baseado nesta saída será gerado o sequenciamento da produção, desta forma teremos um novo conceito de sequenciamento, diferente dos tradicionais.

O objetivo desta saída é que seja construída em um cenário dinâmico, de forma que o modelo possa informar as prioridades ordenadas pelo prazo de entrega, mas no modelo proposto apenas indica qual o produto que será produzido de acordo com as variáveis linguísticas de entrada. Na Figura 9 mostra a função de pertinência de saída, onde:

a) ProdA é o produto com margem de contribuição Alta;

b) ProdB é o produto com margem de contribuição Media;

c) ProdC é o produto com margem de contribuição Baixa;

Na figura 10 mostra o modelo fuzzy do sistema desenvolvido no *MatLab*.

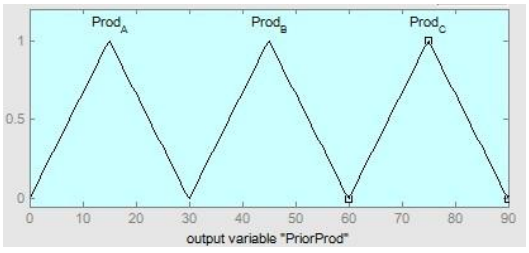

Figura 9: Variável – PriorProd

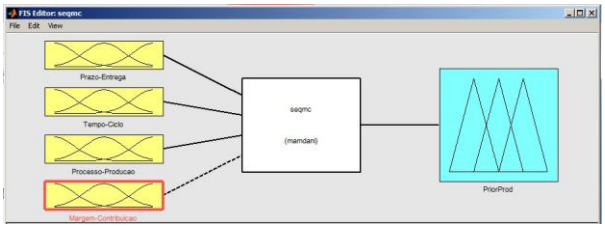

Figura 10: Sistema *Fuzzy*

5.4 Base de Regras do modelo Proposto

Para desenvolver a base de conhecimento e regras de inferência do programa, foram necessárias varias análises com os especialistas da organização. Desta forma, pode-se agregar maior quantidade de informações no sistema, tornando capaz de reagir a todas as situações possíveis. A base de regra é formada por estrutura do tipo se – então, estruturadas na forma se antecedente então consequente. Onde o antecedente para o projeto é a permutação entre todos os conjuntos de todas as entradas.

No sistema foi adotada a máquina de inferência com o método de *Mamdani* e a operação lógica "*and*" (intersecção). No estagio do *defuzzificador* foi utilizado o seguinte método:

As regras estão listadas abaixo, todas possuem peso 1:

1. Se (PE é Curto) e (TC é Baixo) e (PP é Simples) e (MC é Baixo) então (Priorprod é ProdC)
2. Se (PE é Curto) e (TC é Baixo) e (PP é Simples) e (MC é Médio) então (Priorprod é ProdB)
3. Se (PE é Curto) e (TC é Baixo) e (PP é Simples) e (MC é Alto) então (Priorprod é ProdA)
4. Se (PE é Curto) e (TC é Baixo) e (PP é Difícil) e (MC é Baixo) então (Priorprod é ProdC)
5. Se (PE é Curto) e (TC é Baixo) e (PP é Difícil) e (MC é Médio) então (Priorprod é ProdB)
6. Se (PE é Curto) e (TC é Baixo) e (PP é Difícil) e (MC é Alto) então (Priorprod é ProdA)

7. Se (PE é Curto) e (TC é Médio) e (PP é Simples) e (MC é Baixo) então (Priorprod é ProdC)
8. Se (PE é Curto) e (TC é Médio) e (PP é Simples) e (MC é Médio) então (Priorprod é ProdB)
9. Se (PE é Curto) e (TC é Médio) e (PP é Simples) e (MC é Alto) então (Priorprod é ProdA)
10. Se (PE é Curto) e (TC é Médio) e (PP é Difícil) e (MC é Baixo) então (Priorprod é ProdC)
11. Se (PE é Curto) e (TC é Médio) e (PP é Difícil) e (MC é Médio) então (Priorprod é ProdB)
12. Se (PE é Curto) e (TC é Médio) e (PP é Difícil) e (MC é Alto) então (Priorprod é ProdA)
13. Se (PE é Curto) e (TC é Alto) e (PP é Simples) e (MC é Baixo) então (Priorprod é ProdC)
14. Se (PE é Curto) e (TC é Alto) e (PP é Simples) e (MC é Médio) então (Priorprod é ProdB)
15. Se (PE é Curto) e (TC é Alto) e (PP é Simples) e (MC é Alto) então (Priorprod é ProdA)
16. Se (PE é Curto) e (TC é Alto) e (PP é Difícil) e (MC é Baixo) então (Priorprod é ProdC)
17. Se (PE é Curto) e (TC é Alto) e (PP é Difícil) e (MC é Médio) então (Priorprod é ProdB)
18. Se (PE é Curto) e (TC é Alto) e (PP é Difícil) e (MC é Alto) então (Priorprod é ProdA)
19. Se (PE é Médio) e (TC é Baixo) e (PP é Simples) e (MC é Baixo) então (Priorprod é ProdB)
20. Se (PE é Médio) e (TC é Baixo) e (PP é Simples) e (MC não é Baixo) então (Priorprod é ProdA)
21. Se (PE é Médio) e (TC é Baixo) e (PP é Difícil) e (MC é Baixo) então (Priorprod é ProdB)
22. Se (PE é Médio) e (TC é Baixo) e (PP é Difícil) e (MC não é Baixo) então (Priorprod é ProdA)
23. Se (PE é Médio) e (TC é Médio) e (PP é Simples) e (MC é Baixo) então (Priorprod é ProdB)
24. Se (PE é Médio) e (TC é Médio) e (PP é Simples) e (MC não é Baixo) então (Priorprod é ProdA)
25. Se (PE é Médio) e (TC é Médio) e (PP é Difícil) e (MC é Baixo) então (Priorprod é ProdB)
26. Se (PE é Médio) e (TC é Médio) e (PP é Difícil) e (MC não é Baixo) então (Priorprod é ProdA)
27. Se (PE é Médio) e (TC é Alto) e (PP é Simples) e (MC é Baixo) então (Priorprod é ProdB)
28. Se (PE é Médio) e (TC é Alto) e (PP é Simples) e (MC não é Baixo) então (Priorprod é ProdA)
29. Se (PE é Médio) e (TC é Alto) e (PP é Difícil) e (MC é Baixo) então (Priorprod é ProdB)
30. Se (PE é Médio) e (TC é Alto) e (PP é Difícil) e (MC não é Baixo) então (Priorprod é ProdA)
31. Se (PE é Longo) então (Priorprod é ProdA)

5.5 Análise de resultados do modelo Proposto

O Visualizador de regra lhe permite interpretar o processo de inferência *fuzzy* todo de uma vez, também mostra como a forma de adesão de certas funções influência o resultado global, demonstrando cada regra e o resultado do sistema.

Os indicadores de entrada foram obtidos por intermédio da análise conjunta dos pesquisadores e especialistas da organização, de forma que pudesse testar o modelo de tomada de decisão. Os valores foram estimados em função das ações previstas no ambiente de manufatura, assim como informações do processo de meses anteriores, para avaliar o modelo proposto. Foram criadas 15 ordens de produção para avaliar o modelo proposto para tomada de decisão e ajudar no sequenciamento. Os resultados finais após a fuzzificação dos dados no sistema estão demonstrados na Tabela 3. Para estes valores que foram processados dentro do *Matlab* foram criados algumas rotinas listadas abaixo:

Ordem de Produção	PE	TC	PP	MC	PriorProd (Fuzzificado)	Decisão do Sistema
Ordem 1	4	10	2	23	15,0053	ProdA
Ordem 2	6	23	3	2	68,5998	ProdC
Ordem 3	9	13	3	18	27,3276	ProdA
Ordem 4	18	4	6	2	36,8264	ProdB
Ordem 5	25	11	18	16	15,0061	ProdA
Ordem 6	6	24	12	21	22,2925	ProdA
Ordem 7	15	15	13	13	15,0067	ProdA
Ordem 8	2	6	11	29	15,0056	ProdA
Ordem 9	3	13	16	4	74,9957	ProdC
Ordem 10	5	5	18	9	58,3685	ProdB
Ordem 11	2	7	21	23	15,0053	ProdA
Ordem 12	8	18	21	8	50,2605	ProdB
Ordem 13	19	14	23	15	15,0096	ProdA
Ordem 14	17	28	26	7	34,5749	ProdB
Ordem 15	22	26	28	24	15,0061	ProdA

Tabela 3**:** Resultado do Modelo – Tomada de Decisão

O arquivo *varmc.m* do *Matlab* tem a função de declarar os valores para cada variável de entrada, conforme as 15 ordens de produção, *fuzzificar* as variáveis no modelo proposto e gerar os resultados finais. (deve ser o primeiro a ser carregado) E composto:

```
PE=[2 2.5 3 4 1 4 5 6 3.5 5.5 7 8 9 7.5 8];
TC=[2 2.5 3 4 1 4 5 6 3.5 5.5 7 8 9 7.5 8];
PP=[2 3 3 6 8 2 3 1 6 8 2 1 3 6 8];
MC=[3 2 8 2 6 1 3 9 4 5 3 8 5 7 4];
TOTAL=[PE' TC' PP' MC']
%DECLARAÇAO DO SISTEMA FUZZY
CASS=readfis('seqmc');
%RESULTADO DO SISTEMA FUZZY
resul_seq_fuzzy = (evalfis(TOTAL,CASS))
```

O arquivo *mcout.m* do *Matlab* tem a função de mudar os valores fuzzificados para outra vetor de saída. (deve ser o segunda a ser carregado) E composto:

```
n=1;
s=1;
dima=size(resul_seq_fuzzy);
out=dima(1);
while n<=dima(1)
  if out>=0
    cass_out(n,1)=resul_seq_fuzzy(n,1);
  end
 n=n+1;
end
cass_out
```

O arquivo *tdmc*.m do *Matlab* tem a função de mostrar aos especialistas decisão dos valores *fuzzificados*. E composto:

```
f = {'Resultado_Fuzzy','Decisao_PCP'};
n1=1;
while s<=dima(1,1)
 if cass_out(s)>=0 & cass_out(s)<=30
    c = {cass_out(s),'Produzir ProdA'};
    outx = cell2struct(c,f,2)
       elseif cass_out(s)>=30.1 & cass_out(s)<=60
       m = {cass_out(s),'Produzir ProdB'};
       outx = cell2struct(m,f,2)
           elseif cass_out(s)>=60.1 & cass_out(s)<=90
           m = {cass_out(s),'Produzir ProdC'};
           outx = cell2struct(m,f,2)
 end
 s=s+1;
 n1=n1+1;
end
outx;
```

6. Considerações Finais

Esta pesquisa buscou identificar as características especificas do planejamento de produção que influenciam no sequenciamento operacional da produção, durante a revisão bibliográfica percebeu-se que o planejamento de produção tem papel estratégico para as organizações, alem da administração da produção como responsável por gerenciar e coordenar os sistemas produtivos, destacando suas principais atividades. Observou-se que a evolução tecnológica possibilitou a inserção de novas ferramentas, assim como as mudanças ocorridas nas

demandas e exigências do mercado competitivo, impulsionam seu desenvolvimento. Visualizou-se também a importância da margem de contribuição como fator determinante na tomada de decisões de gestores para viabilizar o que é mais viável ou não.

A lógica *fuzzy* sem duvida esta sendo um diferencial dentro das organizações, pois fez com que seja possível propor um método especifico dentro das organizações como foi no caso do sequenciamento de produção. As respostas geradas pelo sistema foram extremamente satisfatórias, comprovando, mais uma vez que a tomada de decisão baseando-se em ambiguidades e incertezas pode ser apoiada pela lógica *fuzzy*. Contudo, é preciso ressaltar a importância do conhecimento do especialista para modelagem do sistema, atribuindo valores e desenvolvendo a teoria aplicada no manuseio dos dados e, principalmente, na criação da base de regras.

Portanto, o objetivo geral de pesquisa foi apresentar e propor uma metodologia, tendo como base os preceitos da lógica *fuzzy*, para auxiliar os especialistas na tomada de decisão, com o propósito de melhorar o sequenciamento da produção, buscando sempre priorizar os produtos que tem a maior margem de contribuição, quando os prazos forem considerados longos. Dentro do cenário de rápidas mudanças, ao quais as organizações estão submetidas, acredita-se que os sistemas automatizados podem criar uma nova dinâmica dentro das organizações, criando rotinas precisas, não ficando dependente das decisões de pessoas, pois sempre haverá diferenças nas tomadas de decisões.

Referências

ALMEIDA, P. E. M. & EVSUKOFF, A. G. *Sistemas Fuzzy*. In: REZENDE, Solange Oliveira. (Org.). *Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações*. São Paulo: Manole, 2003, p. 169-202.

BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. *Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática.* 2. Ed. Gráfica Central da Unicamp. Campinas, SP: UNICAMP/IMECC, 2010.

BASTIAN, A. *Identifying fuzzy models utilizing genetic programming.* Fuzzy Sets and Systems. v.113, n.3, p. 333-350, 2000.

BITRAN, G. R. & TIRUPATI, D. *Hierarchically production planning*. Handbooks in Operations Research and Management Science - Logistics of Production an Inventory, Volume 4, Chapter 10, 1993.

FUZZY LOGIC TOOLBOX™ 2 - USER`S GUIDE – For Use with MATLAB, Revised for version 2.2.11. Release 2010a.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. *Administração da Produção e operações*. 8. ed. Editora Pioneira, São Paulo, 2005.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4 ed. Editora Atlas, São Paulo, 2002.

HAJI, A. & ASSADI, M. *Fuzzy expert sustems ad challenge of new product pricing.* Computers & Industrial Engineering, v.56, p. 616-630, 2009.

HORNGREN, C. T. *Contabilidade de custos.* Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000.

LIN-XIN, W. *A Course in Fuzzy Systems and Control*. Prentice-Hall, 1997.

LOVELAND, J. L.; MONKMAN, S. K. & MORRICE, D. J. *Dell uses a new production scheduling algorithm to Accommodate Increased Product Variety*. Interaces - Vol. 37, No. 3, pp. 209-219, May-June 2007.

MAMDANI, E.H & ASSILIAN, S. *An experiment in Linguistic synthesis with a Fuzzy Logic Controller*. IEEE trans. Internet J. Man-Machine Studies, v. 7, n. 1, p. 1-13, 1975.

MARTINS, E. *Contabilidade de Custos.* São Paulo. Editora Atlas, 2003.

MERRIAM, S. *Qualitative research and case study applications in education*. San Francisco: Jossey-Bass, 1998.

MOREIRA, D. A. *Administração da produção e Operações.* São Paulo: Pioneira, 2004.

RUSSOMANO, V. H. *Planejamento e Controle da Produção*. 6. ed. Editora Thomson Pioneira, São Paulo, 2000.

SIMÕES, M. G. & SHAW, L. S. *Controle e modelagem fuzzy*. 2. ed. Editora Blucher, 2007.

SILVA, C. A. S. *Sistema para tomada de decisão na programação de celular e modem, utilizando lógica fuzzy*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Tecnologia, UFPA. Belém, 2010.

SLACK, N.; CHAMBERS, S. & JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. 3. ed. Editora Atlas, São Paulo, 2009.

TOSO, E. A. V. & MORABITO, R. *Otimização no dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção: estudo de caso em uma fabrica de rações*. Gestão e Produção, v.12, n.2, p.203 a 217, 2005

TUBINO, D. F. *Planejamento e Controle da Produção – Teoria e Prática*. 1. ed. Editora Atlas, São Paulo, 2007.

TURBAN, E & ARONSON, J. E. *Decision Support Systems and Intelligent Systems*, 6 ed, Prentice -Hall, 2001

YIN, R. K. *Estudo de caso, planejamento e métodos*. 3 ed. Bookman, Porto Alegre, 2005.

ZADEH, L. A. *Fuzzy* Logic. *IEEE Computer Mag.*, p. 83-93, abr. 1988.