

Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

**Um Avaliador de Cenários Simulados para
Re-seqüenciamento da Produção em Sistemas
Automatizados de Manufatura usando Lógica
Nebulosa**

Marcelo Climaiteis Fernandes

São Carlos
Agosto de 2004

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

F363ac

Fernandes, Marcelo Climaites.

Um avaliador de cenários simulados para re-seqüenciamento da produção em sistemas automatizados de manufatura usando lógica nebulosa / Marcelo Climaites Fernandes. -- São Carlos : UFSCar, 2004.
103 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2004.

1. Inteligência artificial. 2. Seqüenciamento da produção. 3. Sistemas fuzzy. 4. Sistemas automatizados de manufatura. 5. Sistemas flexíveis de manufatura. 6. Planejamento e controle da produção. I. Título.

CDD: 006.3 (20^a)

Dedicatória

Dedico este Trabalho assim como toda minha vida
A minha filha, Beatriz
A minha esposa, Andreza
A minha mãe, Lucia
e Ao meu pai, Antonio Carlos

Agradecimentos

À minha esposa, por suportar o afastamento do convívio da família, por me suportar, pelo apoio, pela compreensão e por todo amor e carinho.

À minha filha, pelos abraços apertados quando chego em casa e por todas as vezes que ela disse “eu te amo muito papaizinho”.

Aos meus pais pelos conselhos, pelo apoio incondicional e pelas vezes que choramos juntos.

Aos meus irmãos por servirem de exemplo de honestidade e amizade, pelos conselhos, por acreditarem em mim e pelos poucos mais inesquecíveis momentos que passamos juntos.

À família da minha esposa, seu Wladimir, dona Cidinha e Flávia, por me confiarem a Andreza, pelo apoio e pelo carinho com que me recebem.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Orides Morandin Junior, pelo companheirismo, pela atenção, pela amizade, pelas idéias e pela conversa.

Ao Ricardo, pelo exemplo de dedicação e persistência.

Aos colegas Pablo, Matheus, Lucas e Jean, pelos bons momentos.

Aos colegas André Freitas, Rogério e Rodrigo, pelos trabalhos que executamos juntos.

A todos os Professores do Departamento dos quais eu fui aluno, Profa. Dra. Maria do Carmo Nicoletti, Prof. Dr. Hélio Crestana Guardiã, Profa. Dra. Lucia Helena Machado Rino, Prof. Dr. José Hiroki Saito, Prof. Dr. Sergio Donizetti Zorzo, Prof. Dr. Antonio Francisco do Prado.

Aos Professores da Graduação, Fernando, Leandro, Diogo, Celso e Pacheco que tanto me incentivaram ao ingresso no mestrado. Ao Professor Henrique Rodrigo, pelo incentivo ao ingresso no mestrado e apoio nos primeiros dias de São Carlos.

Às Monjas da Imaculada Conceição – Mosteiro Bauru, pelas orações, conselhos e pelo carinho com que recebem a mim e minha família.

À todos que de alguma maneira contribuíram para elaboração desse trabalho.

Sobretudo agradeço à Deus.

Resumo

Fernandes, M. C. *Um Avaliador de Cenários Simulados para Re-seqüenciamento da Produção em Sistemas Automatizados de Manufatura usando lógica nebulosa*. São Carlos, 2004. 103p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos – Departamento de Computação.

Na busca por vantagens competitivas, empresas do setor de manufatura têm investido na flexibilidade de produção e automação de processos, procurando atender a uma variedade de tipos de produtos, seguindo a demanda por produtos e com baixa intervenção manual. Neste ambiente, tarefas de integração da manufatura, planejamento e gerenciamento da produção, entre outras, tornam-se cada vez mais complexas.

A busca por soluções nestas tarefas deve sempre levar em consideração o desempenho desejado do sistema produtivo, em relação a uma série de fatores como, por exemplo, o atendimento de prazos de entrega.

Dentre as tarefas de planejamento, a presente proposta atua no seqüenciamento da produção.

Este seqüenciamento pode ser realizado de diversas maneiras como, por exemplo, pelo uso de regras de prioridade, visando uma expectativa de resultados.

Fazendo-se o uso de simulação de sistemas de eventos discretos, é possível testar diferentes seqüências admissíveis de produção, avaliando-se o desempenho para cada condição ou cenário. Entretanto o uso de simulação tipicamente necessita um tempo relativamente alto, não somente para as chamadas “corridas de simulação” mas também pelo tempo necessário para análise dos dados obtidos.

Para tratar o seqüenciamento diante de situações que ocorrem em momentos não pré-determinados, o tempo de resposta na análise ou de definição de um novo arranjo é um fator muito importante e necessita ser relativamente baixo.

Esta proposta apresenta um sistema computacional usando lógica nebulosa, para avaliação de dados obtidos na simulação de cenários representativos de condições de chão de fábrica, para o re-seqüenciamento da produção, buscando reduzir o tempo de avaliação.

Palavras-chave: Sistemas nebulosos, seqüenciamento da produção, sistemas automatizados de manufatura, sistemas flexíveis de manufatura, planejamento e controle da produção.

Abstract

Fernandes, M. C. *A System to Evaluate Simulated Scenarios for Production Re-Sequencing of Automated Manufacturing Systems Using Fuzzy*. São Carlos, 2004. 103p. Master's Degree Dissertation. Federal University of São Carlos – Department of Computer Science.

In the search for competitive advantages, companies of the manufacture industry segment have been investing in the production flexibility and processes automation, looking for assisting a variety of types of products, following a demand for products and with few manual interventions. In this context, tasks like manufacture integration and production planning and management become more complex.

The search for solutions in these tasks should always take into account the desired performance of the productive system, in relation to a series of factors like the attendance of delivery dates.

Among the planning tasks, the present proposal is to help the production sequencing.

This sequencing can be accomplished in several ways as, for instance, using priority rules.

Discrete event systems simulation can be used to test different acceptable sequences of production evaluating the conditions or scenarios. However the simulation typically takes long time, not only to run the models but also for the analysis of the obtained data.

To deal with the sequencing task due to situations that happen in moments not determined, the time to analyze or define a new arrangement is a very important factor and needs to be short.

This proposal presents a system using fuzzy logic, for the evaluation of data obtained from the simulation of scenarios, considering shop floor conditions, to the production sequencing, in order to take a lower time for the evaluation task.

Keywords: Fuzzy systems, production sequencing, automated manufacturing systems, flexible manufacturing systems, production planning and control.

Sumário

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1. Organização do Texto	4
Capítulo 2 - Conceitos Básicos	6
2.1. Sistema Flexível de Manufatura	7
2.2. Planejamento e Controle da Produção	12
2.2.1. Sequenciamento da Produção	14
2.3. Simulação.....	17
Capítulo 3 - Sistemas Nebulosos	20
3.1. Conjuntos Nebulosos e Funções de Pertinência.	23
3.2. Lógica Nebulosa	26
3.3. Sistemas Nebulosos	32
Capítulo 4 - Pesquisa Relacionada ao Projeto.....	40
Capítulo 5 - O Avaliador de Cenários Simulados Nebuloso	47
5.1. Definição do Ambiente	49
5.2. O Ambiente Modelado.....	50
5.3. Definindo o Avaliador de Cenários Simulados Nebuloso	53
5.3.1. Definição das Variáveis do Sistema.....	53
5.3.2. Conjuntos Nebulosos de entrada e Funções de Pertinência.....	56
5.3.3. Método de Conversão Nebuloso Escalar	58

5.3.4. Conjuntos Nebulosos de Saída e Funções de Pertinência.....	58
5.3.5. Definição das regras.....	58
5.4. Elaboração e Funcionamento do ACS	60
Capítulo 6 - Testes do Avaliador de Cenários Simulados	71
Capítulo 7 - Conclusão e Trabalhos Futuros.....	80
Referências Bibliográficas	86

Figuras

Figura 2.1 – Ciclo de Vida do Produto	8
Figura 2.2 – Gráfico das Arquiteturas Flexíveis de Manufatura	11
Figura 2.3– Redução do tempo disponível para carga de trabalho em uma máquina (Gaither & Frazier, 2001).....	14
Figura 3.1 – Gráfico do Conforto Humano (INMET, 2003)	22
Figura 3.2 – Exemplo de Gráfico das funções de pertinência dos Conjuntos Nebulosos relativos a estatura da mulher	24
Figura 3.3 – Exemplo de Gráfico da função de pertinência de Mediana \cup Alta dos Conjuntos Nebulosos relativos a estatura da mulher	25
Figura 3.4 – Exemplo de Gráfico da função de pertinência de Mediana \cap Alta dos Conjuntos Nebulosos relativos à estatura da mulher	25
Figura 3.5 – Gráfico da função de pertinência do conjunto nebuloso Mediana, relativo à estatura da mulher com modificadores lingüísticos Não, Alta e Razoavelmente.....	26
Figura 3.6 – Gráfico das funções de pertinência dos Conjuntos Nebulosos relativos à temperatura	28
Figura 3.7 – Gráfico das funções de pertinência dos conjuntos nebulosos relativos à umidade	29
Figura 3.8 – Gráfico da Intersecção - Média(Temperatura) \cap Média(Umidade).....	31
Figura 3.9 – Gráfico da Intersecção Razoavelmente Fria(Temperatura) \cap Muito Média(Umidade).....	31
Figura 3.10 – Gráfico do conjunto nebuloso Confortável Resultado da União dos conjuntos dos gráficos da Figura 3.8 e da Figura 3.9.....	31
Figura 3.11– Sistema Nebuloso pelo Modelo de Mamdani.....	34

Figura 3.12 – Gráfico das funções de pertinência dos Conjuntos Nebulosos relativos à Velocidade	35
Figura 3.13 – Gráfico das funções de pertinência dos Conjuntos Nebulosos relativos à Água	35
Figura 3.14 – Gráfico das funções de pertinência dos Conjuntos Nebulosos relativos à Aceleração	35
Figura 3.15 – Gráfico da Aceleração em Relação à Velocidade e à Água.	38
Figura 3.16 – Gráfico das funções de pertinência dos Conjuntos Nebulosos relativos a Aceleração	39
Figura 4.1 - Esboço do sistema de apoio de decisão inteligente para projeto de FMS (Chan et al. 2000)	43
Figura 4.2 - Enquadramento do ACS no Sistema de Planejamento da Produção SPPS.....	46
Figura 5.1 – Modelo da fábrica criado no software de simulação e utilizado pelo sistema	50
Figura 5.2 – Tempos e Roteiros de Produção dos Produtos (Fernandes et al. 2003)	51
Figura 5.3 – Gráfico dos Conjuntos Nebulosos da variável Atraso Médio.	56
Figura 5.4 – Gráfico dos Conjuntos Nebulosos da variável Lucro ao Dia.	57
Figura 5.5 – Gráfico dos Conjuntos Nebulosos da variável Desvio Padrão da Utilização de Máquinas.....	57
Figura 5.6 – Gráfico dos Conjuntos Nebulosos da variável de Saída (Nota).	58
Figura 5.7 – Planilha de Controle e Interface do ACS	61
Figura 5.8 – Exemplo de Planilha de Cenários.....	61
Figura 5.9 – Exemplo da Planilha Quantidade	62
Figura 5.10 – Exemplo da Planilha Tempo	63
Figura 5.11 – Exemplo da Planilha Atraso	63

Figura 5.12 – Exemplo da Planilha Atraso (2)	63
Figura 5.13 – Exemplo da Planilha Lucro-Dia	64
Figura 5.14 – Exemplo da Planilha Resultados da Simulação	64
Figura 5.15 – Planilha dos Conjuntos de Entrada.....	65
Figura 5.16 – Exemplo da Planilha Pertinência.....	66
Figura 5.17 – Exemplo da Planilha Regras.....	66
Figura 5.18 – Parte de um Exemplo da Planilha Pertinência-Saída	66
Figura 5.19 – Planilha dos Conjuntos de Saída	67
Figura 5.20 – Parte de um Exemplo da Planilha Pontos.....	67
Figura 5.21 – Parte de um Exemplo da Planilha Massa	68
Figura 5.22 – Parte de um Exemplo da Planilha Centro-Massa	68
Figura 5.23 – Parte de um Exemplo da Planilha Centro-MassaXMassa	68
Figura 5.24 – Exemplo da Planilha Notas	69
Figura 5.25 – Funcionamento detalhado do ACS.....	70
Figura 6.1 – Relatório Parcial de Ensaio para Evento 1.	73
Figura 6.2 – Relatório Parcial de Ensaio para Evento 2	74
Figura 6.3 – Relatório Parcial de Ensaio para Evento 3	75
Figura 6.4 – Relatório Parcial de Ensaio para Evento 4	76
Figura 6.5 - Relatório de ensaio para Evento 5.....	77
Figura 6.6 - Relatório de ensaio para Evento 6.....	77
Figura 6.7 - Relatório de ensaio para Evento 7.....	78

Figura 6.8 - Relatório de ensaio para Evento 8.....	78
Figura 7.1 – Esquema do ACS inserido no Contexto como SAD.	81
Figura 7.2 – Esquema do ACS inserido no contexto como um tomador de decisão.....	82

Tabelas

Tabela 3.1 – Funções de Pertinência aos conjuntos nebulosos da estatura da mulher	24
Tabela 3.2 – Funções de pertinência dos conjuntos nebulosos relativos a temperatura	28
Tabela 3.3 – Funções de pertinência dos conjuntos nebulosos relativos à umidade	29
Tabela 3.4 – Funções de pertinência dos conjuntos nebulosos relativos à Velocidade	36
Tabela 3.5 – Funções de pertinência dos conjuntos nebulosos relativos à Água	36
Tabela 3.6 – Funções de pertinência dos conjuntos nebulosos relativos à Aceleração	37
Tabela 3.7 – Regras de Produção do Sistema de Controle de Velocidade	37
Tabela 3.8 – Tabela dos Valores verdade dos Conjuntos de Entrada.....	38
Tabela 3.9 – Valores verdade dos Conjuntos de Saída.....	39
Tabela 5.1 – Tempo de <i>Setup</i> Máquina 1	52
Tabela 5.2 – Tempo de <i>Setup</i> Máquina 2	52
Tabela 5.3 – Tempo de <i>Setup</i> Máquina 3	52
Tabela 5.4 – Tempo de <i>Setup</i> Máquina 4	52
Tabela 5.5 – Tempo de <i>Setup</i> Máquina 5	52
Tabela 5.6 – Tempo de <i>Setup</i> Máquina 6	52
Tabela 5.7 – Exemplo de Calculo da variável Atraso Médio.	54
Tabela 5.8 – Tabela de Regras.....	59
Tabela 6.1 – Configuração padrão para os eventos apresentados.....	72

Capítulo 1 - Introdução

A evolução das tecnologias de transporte e de comunicação, entre outras, possibilita às indústrias concorrerem a mercados cada vez mais distantes geograficamente e faz com que a concorrência se torne global. A concorrência globalizada torna a modernização dos processos e equipamentos de chão de fábrica obrigatória, devido à necessidade de redução de custos, aumento da produtividade e melhor atendimento aos clientes. Essa modernização utiliza diversos métodos, como por exemplo, de automação, de desenvolvimento de processos de fabricação mais eficazes e de flexibilização da produção. A flexibilização da produção permite à indústria produzir diversos produtos em um mesmo sistema de produção.

Para que a flexibilização da produção seja eficiente são desenvolvidas diversas técnicas que têm objetivos distintos. Como exemplo de objetivos pode-se citar a redução do tempo de preparação (*set-up*) de máquina, a redução do tempo de espera, a redução do tempo de transporte entre outras. Estas técnicas permitem que a indústria se adapte às alterações de demanda e de condições de fabricação mais rapidamente.

A demanda pode sofrer alterações devido ao aumento ou redução da procura pelos produtos tornando necessário o aumento da produção de alguns produtos e a redução de outros. As condições de produção podem mudar devido à quebra, conserto ou aquisição de alguma máquina, falta de matéria prima ou retorno à normalidade da mesma entre outros.

Outra técnica utilizada para melhorar os resultados da flexibilização de sistemas de produção é a automação desses sistemas, que permite, dependendo do sistema e do nível de automatização, que ele seja alterado automaticamente. Existem várias técnicas que permitem tornar um sistema de produção flexível e automatizado (Carvalho, 2003), podendo ser através da construção de linhas flexíveis de manufatura, de células flexíveis de manufatura, ou de sistemas flexíveis de manufatura.

Um Sistema Flexível de Manufatura (FMS – Flexible Manufacturing System) é tipicamente bastante complexo, tendo em vista que o objetivo da implementação de um FMS torna o sistema de fabricação apto a produzir uma gama de produtos com o mínimo de intervenção manual. Segundo Morandin (1994), Groover (1987) e Choobineh & Suri (1986) consiste basicamente de estações de trabalho, ligadas por um sistema de manipulação e transporte de materiais que move peças de uma estação de trabalho para outra, um sistema de armazenamento e opera com um sistema de controle por computador.

Alguns eventos inesperados podem ocorrer em um FMS como por exemplo, a quebra de uma máquina, a falta de matéria prima, a emissão de um pedido prioritário, aumento ou queda na demanda ou qualquer mudança de prioridades de produção. Quando em um FMS ocorre algum desses eventos inesperados é necessário que se realize um estudo de um novo arranjo e de um novo seqüenciamento da produção. Uma técnica que vem sendo utilizada para apoiar a identificação de qual é o melhor seqüenciamento da produção é a simulação (Kazerooni et al., 1997) e (Zhao & de Souza, 1999).

O problema é que a avaliação de um processo fazendo uso de simulação, nem sempre é elementar, devido à existência de várias medidas de desempenho que podem classificar os cenários simulados em ordens diferentes, como por exemplo, um cenário pode ter um menor atraso, mas não ter um bom desempenho relativo ao lucro. Por este motivo surge a necessidade de avaliar os cenários adotando-se critérios que considerem várias variáveis.

No Laboratório de Inteligência Artificial e Automação onde este trabalho foi desenvolvido, há um projeto que trata a questão do re-seqüenciamento da produção, com o uso de simulação para apoio à tomada de decisão. Neste projeto há a identificação de necessidade de apoio à análise de dados de simulação para tarefas de seqüenciamento e que é o objeto de trabalho da presente proposta.

A proposta deste trabalho é a utilização de um sistema nebuloso para a avaliação de cenários simulados por múltiplos critérios, que em resumo permitirá que o usuário escolha um cenário, dentre os cenários simulados, em baixo tempo.

O sistema, chamado de Avaliador de Cenários Simulados, foi implementado e testado considerando-se um sistema automatizado de manufatura que está em desenvolvimento e estudo no referido laboratório.

Foram estudadas três formas de implementação. Na primeira pode-se configurar o sistema de tal maneira que o usuário, responsável pela tomada de decisão, determine valores de prioridade de cada variável antes de utilizar o sistema. Na segunda pode se determinar os valores de prioridade de acordo com estratégias pré-configuradas, onde o usuário, responsável pela tomada de decisão, escolhe somente a estratégia de atuação e o sistema ajusta os valores de prioridades. Na terceira o sistema já possui a estratégia da empresa considerada nos índices

de prioridade de cada variável onde o usuário só solicita a análise dos cenários e o sistema já os ordena.

Depois de realizada a avaliação dos cenários, pode-se utilizar o sistema para proporcionar dois resultados diferentes. O primeiro seria colocar o sistema para a tomada de decisão. Depois dos cenários terem sido simulados o sistema os avalia, verifica qual é o mais adequado de acordo com a estratégia da empresa e envia ao sistema de controle FMS o novo arranjo ou seqüenciamento para que ele possa começar a utilizá-lo. O segundo, para o qual o sistema foi configurado, serve para dar suporte à decisão, gerando um relatório com os cenários avaliados e ordenados de acordo com a prioridade.

1.1. Organização do Texto

Este trabalho está organizado em 7 capítulos incluindo a introdução.

No capítulo 2 são descritos os conceitos básicos de FMS e Planejamento e Controle da Produção. Sobre FMS é feita uma descrição do que é, da sua utilização, e dos seus principais componentes. Sobre o Planejamento e Controle da produção é apresentada a influência dos objetivos da produção no planejamento e controle e é dado um enfoque ao seqüenciamento e suas formas de elaboração. Sobre simulação são apresentadas algumas definições e sua utilização na produção.

No capítulo 3 são descritos os sistemas nebulosos e seus principais conceitos tais como, conjuntos nebulosos, funções de pertinência, lógica nebulosa, variáveis e modificadores lingüísticos, métodos de conversão, e os passos para elaboração de um sistema nebuloso.

No capítulo 4 são apresentados alguns trabalhos pesquisados os quais foram de grande importância para a condução dos trabalhos servindo de exemplo e base para essa dissertação.

No capítulo 5 é mostrada a descrição detalhada do sistema elaborado, da produção e das estratégias de produção que foram consideradas na proposta do sistema.

No capítulo 6 é feita a apresentação dos resultados obtidos após a simulação de alguns eventos bem como a comparação entre os resultados obtidos com o sistema e a avaliação de um especialista.

No capítulo 7, conclusão, é feita uma análise dos resultados apresentados pelo sistema proposto e são apresentados alguns trabalhos que podem ser realizados usando como base ou como ferramenta o sistema proposto nesse trabalho.

Capítulo 2 - Conceitos Básicos

Para a elaboração do trabalho foram considerados alguns conceitos relativos ao problema estudado. Os conceitos apresentados são FMS (*Flexible Manufacturing System* - Sistemas Flexíveis de Manufatura) e PCP (Planejamento e Controle da Produção). O FMS é o sistema produtivo considerado na elaboração do ACS (Avaliador de Cenários Simulados) proposto, e a tarefa que se deseja apoiar com o ACS é uma tarefa do contexto de PCP.

Os FMS's são sistemas de produção com alto grau de automação e geralmente sistemas de grande complexidade, tornando assim as tarefas de planejamento e controle da produção igualmente complexas. Para facilitar essas tarefas têm sido utilizadas diversas técnicas computacionais para criar sistemas de apoio à decisão ou até mesmo de tomada de decisão. Nesse capítulo são apresentados alguns conceitos básicos sobre o problema que está sendo tratado nessa dissertação e algumas formas que foram propostas para resolução do mesmo.

2.1. Sistema Flexível de Manufatura

Os sistemas de manufatura, segundo Slack (1993), são classificados em quatro categorias baseadas no tipo de produto e no tipo de processo:

- **Sistema de Produção Contínua:** Processa um grande volume de determinado produto, como em indústrias químicas e refinarias de óleo. Nesse tipo de sistema produtivo não existem grandes possibilidades de flexibilização.
- **Sistema de Produção Intermitente:** Sempre ocorrem mudanças no tipo de produto fabricado, gerando grande variedade de produtos. Nos sistemas de produção intermitentes a produção ocorre em lotes ou bateladas (Tubino, 2000) e (Carvalho, 2003), neste tipo de sistema de produção estão classificados, entre outros, os **Sistemas Flexíveis de Manufatura**.
- **Sistema de Grandes Projetos:** Os produtos são complexos e na maioria das vezes são únicos, como na construção de pontes e edifícios.

- **Sistema de Estoque Puro:** É um caso especial onde não há produção e sim distribuição. É o caso de Supermercados e Atacadistas.

Existem diversas justificativas para a utilização de sistemas produtivos flexíveis, em Slack et al (1999) é sugerida a utilização de sistemas de produção flexíveis para a produção de produtos que estejam no início do seu ciclo de vida (Figura 2.1). Apesar de um sistema de produção flexível oferecer uma vantagem competitiva à corporação, o desenvolvimento de tal sistema pode, em alguns casos, gerar um custo maior para produto, a produção pode ser mais lenta e surgem problemas de planejamento como, por exemplo, no seqüenciamento. A justificativa da utilização no início do ciclo de vida é que nesse momento a quantidade de produtos a serem produzidas não é grande, não se tem a certeza de que o produto irá ter aceitação no mercado e não se tem certeza da produção que será necessária para atender a demanda. Devido a esses motivos não é justificável a construção de um sistema produtivo dedicado.



Figura 2.1 – Ciclo de Vida do Produto.

Também se justifica a flexibilização da manufatura por proporcionar diversas vantagens tais como, lidar de maneira eficaz com produtos com vários componentes ou vários produtos com componentes em comum, adaptar produtos a requisitos específicos dos consumidores, ajustar níveis de saída para estar apto a corresponder às variações de demanda, tais como sazonalidade, expedir pedidos prioritários ao longo da fábrica, lidar com quebras de

equipamento, proporcionar os ajustes de capacidade quando a demanda é muito diferente do previsto e lidar com falhas dos fornecedores (internos e externos).

O uso de técnicas de flexibilização de manufatura possibilita a empresa uma grande vantagem competitiva de mercado considerando que, de acordo com Slack (1993), existem cinco fatores chaves que indicam vantagens competitivas da manufatura e que são: o fazer certo (qualidade), o fazer rápido (velocidade), o fazer pontualmente (confiabilidade), a facilidade de mudança do que é feito (flexibilidade), e o fazer barato (custo). A flexibilidade afeta três vantagens competitivas. Ela pode ajudar a tornar a manufatura mais confiável, acelerar o fluxo e reduzir diretamente os custos. Em Slack et al (1999) as vantagens competitivas baseadas em produção são apontadas como objetivos da produção onde o sistema de produção busca atender a uma vantagem competitiva. Quando a empresa escolhe seu objetivo da produção ela pretende atender a uma gama de clientes que têm como expectativa o bom atendimento a esse objetivo.

- Se o objetivo é fazer certo as coisas, isto é, não desejaria cometer erros. Se a Produção for bem-sucedida em proporcionar isso, estará dando uma vantagem de qualidade para a empresa.
- Se o objetivo é fazer as coisas como rapidez, minimizando o tempo entre o consumidor solicitar o bem e recebê-lo. Atendendo a este objetivo será dada uma vantagem em rapidez.
- Se o objetivo é entregar os produtos na data devida, ou seja, se comprometer com o consumidor em entregar o bem em uma determinada data e atender esta data. A vantagem nesse caso será de confiabilidade.
- Se o objetivo é estar preparado para mudar o que é produzido, isto é, estar preparado para mudar ou adaptar as atividades da produção a mudanças de mercado. Será dada uma vantagem em flexibilidade para a empresa.
- Se o objetivo é fazer barato, reduzindo ao máximo os custos e diminuindo assim o preço do produto para o consumidor final ou aumentando o lucro unitário do produto será dada à produção a vantagem de custo.

Pensando no objetivo da flexibilidade, uma manufatura flexível é capaz de se adaptar a eventos com o mínimo de interferência na qualidade, na velocidade, na confiabilidade e no preço. A flexibilidade pode ser de quatro tipos, de acordo com as pretensões da empresa, estes tipos são:

- **Flexibilidade de novos produtos:** Habilidade de introduzir e produzir novos produtos ou de modificar os existentes.
- **Flexibilidade de Mix:** Habilidade de mudar a variedade dos produtos que estão sendo feitos pela operação dentro de um dado período de tempo.
- **Flexibilidade de Volume:** Habilidade de mudar o nível agregado de saídas da operação.
- **Flexibilidade de Entrega:** Habilidade de mudar datas de entrega planejadas ou assumidas.

Os sistemas de produção intermitente, por se caracterizarem pela mudança no tipo de produto fabricado, são sistemas flexíveis. Existem várias classificações referentes ao tipo de arquitetura dos sistemas flexíveis. Morandin (1999) classifica essas arquiteturas em três tipos que são:

- **Linhas de Transferência Flexíveis:** são linhas de transferência capazes de produzir uma gama de produtos de forma seqüencial. Os produtos seguem o mesmo caminho, sendo que a flexibilidade é caracterizada no tipo de manipulação que é realizada ou não em cada produto, que irá variar de um tipo de produto para o outro tipo. Nas produções com esse tipo de arquitetura, em relação às outras arquiteturas flexíveis, tem-se uma variedade pequena, mas uma quantidade grande de produtos.
- **Células Flexíveis de Manufatura:** é o agrupamento de apenas algumas estações de trabalho, tipicamente com um sistema de manipulação de peças. São altamente flexíveis, pois podem variar a seqüência de utilização das máquinas que fazem parte dessa célula. Caracteriza-se também por ter uma média variedade e uma quantidade média de produtos

- **Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS – *Flexible Manufacturing System*):** segundo Gaither & Frazier (2001), são grupos de máquinas automatizadas que são controladas por computadores. Esses grupos produzem uma variedade de produtos na mesma maquinaria. Os computadores coordenam ações, os robôs manipulam as peças e materiais, e as configurações de máquina são modificadas automaticamente para produzir diferentes produtos. Os sistemas são maiores que as células podendo conter células em sua composição. Nos sistemas com esse tipo de arquitetura a variedade de produtos é grande e a quantidade de produtos é pequena.

A principal diferença entre as arquiteturas flexíveis é em respeito à quantidade de produtos em relação à variedade. Conforme apresentado na Figura 2.2, as linhas de transferência flexíveis visam à produção em grande quantidade e com uma variedade pequena e os FMS's visam à produção de uma grande variedade em pequena quantidade. As células flexíveis visam atender o intervalo entre as linhas de transferência e FMS.

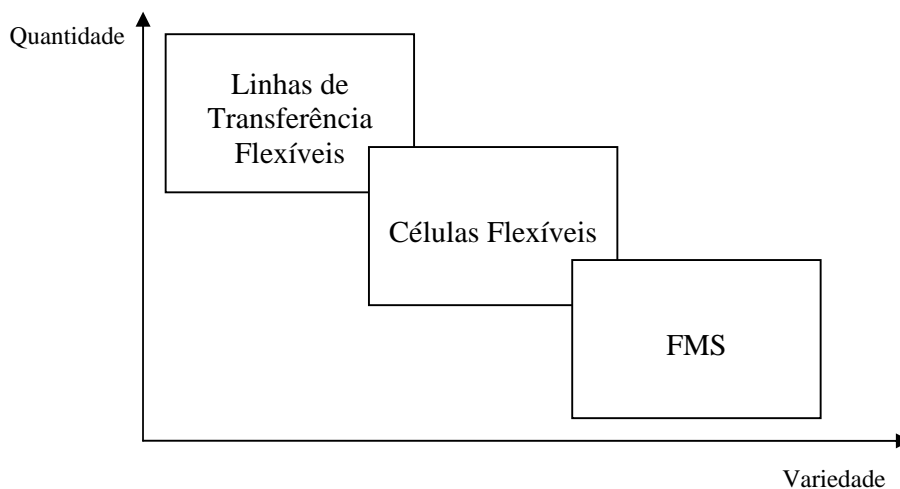


Figura 2.2 – Gráfico das Arquiteturas Flexíveis de Manufatura.

Em Gaither & Frazier (2001) os autores consideram que os FMS estão crescendo em termos de importância, e muitas empresas estão considerando instalá-los. Em comparação com a automação rígida, característica de máquina do tipo *transfer*, os FMS têm a vantagem da adaptação rápida das máquinas de comando numérico (CNC) à fabricação de novas peças e produtos.

Segundo Groover (1987) os componentes de um FMS são classificados em três categorias:

- **Estações de Processamento:** são os componentes que desempenham operações “mecânicas”, ou seja, onde os produtos são transformados, e onde realmente se realiza o processo de manufatura.
- **Sistemas de Manipulação, Movimentação e Armazenamento de Materiais:** são os elementos responsáveis pelos materiais quando não estão nas estações de trabalho, seja quando estão em armazenamento temporário, em armazéns automatizados ou sendo transportados.
- **Sistemas de Controle por Computador (SCC):** é o sistema usado para coordenar todas as atividades do chão de fábrica: as estações de processamento e o sistema de manipulação, movimentação e armazenamento de materiais. De acordo com Morandin (1994), suas funcionalidades típicas são:
 - Armazenamento, distribuição e controle dos programas das estações de trabalho.
 - Controle da produção.
 - Controle e monitoração do sistema de movimentação.
 - Controle de *buffer* de máquina.
 - Monitoração e informação de desempenho.

2.2. Planejamento e Controle da Produção

O fato dos SCC possibilitarem a Monitoração e o Controle da Produção e oferecerem informações de desempenho faz com que se tornem uma ferramenta bastante útil no Planejamento e Controle da Produção que, segundo Pires (1995), pode ser definido como um conjunto de atividades gerenciais fundamentais para que se concretize a produção de um item ou produto qualquer. Essas atividades gerenciais, segundo Fernandes (1991), podem ser divididas em três grupos que são o Planejamento Estratégico, o Planejamento da Produção e o Controle da Produção, essa classificação é feita de acordo com suas funções e prazos.

Planejamento Estratégico

Encarrega-se de questões como expansão da capacidade produtiva e alterações significativas na linha de produção. Segundo Gaither & Frazier (2001), o planejamento estratégico inclui afirmações sobre o tipo de negócios que a empresa quer estar, quem são seus clientes, suas convicções básicas a respeito do negócio e suas metas de sobrevivência crescimento e lucratividade. Trata de questões em longo prazo com um horizonte de pelo menos um ano.

Planejamento da Produção

Encarrega-se de questões como planejar a capacidade de produção de acordo com a previsão de demanda. Trata de questões em médio prazo com um horizonte de um a dezoito meses.

Controle da Produção

Decide o quanto e quando fabricar, o seqüenciamento e a programação da produção. Trata de questões em curto prazo de no máximo três meses. Tem como um dos objetivos conciliar o volume e o tempo. O controle da produção pode ser dividido em três atividades principais que são:

- **Carregamento:** Determina o volume com o qual uma operação produtiva pode lidar. Para que se determine o carregamento de uma máquina deve-se considerar, além da demanda pela máquina, a sua capacidade produtiva e o tempo real disponível para operação. Na Figura 2.3 são apresentadas as atividades que são consideradas para que se calcule o tempo real disponível para operação.

Existem duas principais abordagens para se determinar o carregamento de uma máquina: Carregamento Finito e Carregamento Infinito (Gaither & Frazier, 2001). No Carregamento Infinito a máquina vai recebendo carga durante todo o tempo de produção, fazendo com que a máquina produza o total da sua capacidade produtiva. No Carregamento Finito a máquina recebe carga de acordo com a demanda produtiva. No Carregamento Finito considera-se a sua

máxima capacidade produtiva no tempo real disponível para operação como carga máxima para a máquina.

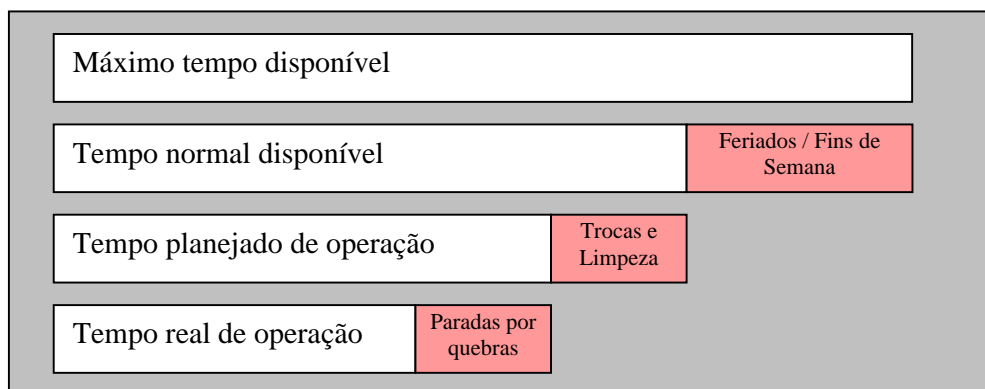


Figura 2.3- Redução do tempo disponível para carga de trabalho em uma máquina (Gaither & Frazier, 2001)

- **Seqüenciamento:** Define a ordem em que os produtos serão fabricados, independente do tipo de carregamento. Geralmente é definido através de regras de prioridade, como, por exemplo, menor data de entrega, razão crítica, menor tempo de processamento, menor folga e menor custo de preparação (Carvalho, 2003), (Slack et al., 1997) e (Slack et al., 1999).
- **Programação:** É elaborado um cronograma detalhado que indica onde serão processadas as operações dos produtos de acordo com os recursos disponíveis e o momento em que o processamento desses produtos deve começar e terminar (Carvalho, 2003), (Slack et al., 1997) e (Slack et al., 1999).

Considerando um FMS qualquer, dado um evento inesperado que pode ser a quebra de uma máquina, a falta de matéria prima, a emissão de um pedido prioritário, aumento ou queda na demanda ou qualquer mudança de prioridades de produção, o Controle da Produção tem que entrar em atividade para, entre outras atividades, elaborar um novo arranjo ou um novo seqüenciamento da produção.

2.2.1. Seqüenciamento da Produção

O seqüenciamento da produção está sendo tratado em um tópico à parte, pois é a atividade do controle da produção que se pretende apoiar com o sistema proposto.

Independente do tipo de carregamento utilizado, quando o trabalho chega a uma máquina tem-se que determinar qual tarefa será realizada primeiro.

O seqüenciamento é uma atividade complexa onde a escolha da seqüência de produtos a serem processados pode interferir na conciliação do fornecimento e da demanda, considerando volume e tempo (Slack et al., 1999).

A tarefa de se elaborar um novo arranjo ou novo seqüenciamento da produção em curtíssimo prazo não é uma tarefa fácil considerando que, por exemplo, uma fábrica que trabalhe com cinco tipos de produtos pode ter 120 (cento e vinte) novas possíveis seqüências de entradas de produtos sendo que cada um poderá apresentar um desempenho diferente. A determinação do seqüenciamento da produção pode ser feita, entre outras, através do uso de regras de prioridade ou de simulação.

2.2.1.1. Seqüenciamento Utilizando Regras de Prioridade

O seqüenciamento geralmente obedece a regras de prioridade. Algumas dessas regras citadas em Slack et al. (1999) e Carvalho (2003) são resumidas a seguir.

Prioridade ao consumidor

Pode ser dada prioridade a um determinado cliente independente da ordem de chegada do pedido. Esta prioridade pode ser dada, por exemplo, ao cliente que geralmente fecha negócios de grande volume, ao cliente que se pretende conquistar nesse momento ou devido a qualquer outra estratégia de negócio relacionada diretamente ao cliente.

Data devida

O seqüenciamento será feito de acordo com as datas requeridas pelos clientes. Por exemplo:

Um cliente pode emitir um pedido e solicitar a entrega no prazo máximo de 30 dias, pois a inauguração da obra está prevista para daqui a 40 dias.

Outro cliente pode emitir o pedido no dia seguinte e solicita a entrega em um prazo máximo de 15 dias, pois a data de inauguração da obra está prevista para daqui a 25 dias.

Será dada prioridade no seqüenciamento para as atividades destinadas a atender ao pedido do segundo cliente, pois possui um prazo de entrega menor.

Último a Entrar, Primeiro a Sair (UEPS ou LIFO)

Neste método os objetivos de desempenho de qualidade, flexibilidade e custo não são bem servidos, mas este método é útil como, por exemplo, se referir às atividades de descarga de um elevador que possui apenas uma porta para entrada e saída, pois seria difícil descarregar o primeiro antes de descarregar os demais.

Primeiro a Entrar, Primeiro a Sair (PEPS ou FIFO)

A seqüência de produção é determinada em função da ordem de chegada dos produtos.

Menor Tempo de Processamento (MTP)

A escolha da seqüência de produção é feita considerando o tempo que o produto passa efetivamente nas máquinas, desconsiderando os tempos de transporte e de espera, tendo assim como expectativa na utilização desse método que se diminua o tempo ocioso do sistema.

Menor Custo de Preparação (MCP)

A seqüência de produção é determinada em função do custo total de preparação de máquinas, podendo ser, este custo, o tempo, a mão de obra necessária ou qualquer outro custo necessário para preparação das máquinas. Neste caso o produto que necessite um menor custo de preparação nas máquinas será colocado em primeiro no seqüenciamento.

2.2.1.2. Seqüenciamento Utilizando Simulação

O uso da simulação do processo é uma outra técnica para realizar o seqüenciamento da produção, pois se pode estimar o desempenho de cada cenário antes de colocá-lo em atividade. Porém a simulação de todos os cenários possíveis para determinadas situações necessita um tempo grande para se obter a análise de novos arranjos.

O SPPS (Sistema de Planejamento da Produção Baseado em Simulação) desenvolvido por Kato et al. (2000), Maia et al. (2002a), Maia et al. (2002b), Desco et al. (2002) e Maia et al. (2003) faz o uso de simulação para apoiar tarefas de planejamento da produção. Esse

sistema considera uma base de cenários previamente modelados e a identificação de fatores críticos que podem ocorrer no chão de fábrica, para permitir a um usuário a identificação de uma re-configuração da produção.

Carvalho (2003) propôs uma diminuição do número de cenários a serem simulados fazendo uso das regras de prioridade, diminuindo o tempo de simulação e também o tempo de análise dos dados obtidos na simulação.

2.3. Simulação

A simulação é uma importante ferramenta para de apoio e existem diversas definições aceitas para simulação entre elas estão:

- Simulação é a imitação da operação de um processo do mundo real. Se feito manualmente ou em um computador, a simulação envolve a geração de um histórico artificial do comportamento do sistema. Pela observação desse histórico é que se tiram conclusões relativas às características operacionais do sistema real (Banks & Carson, 1994).
- Simulação é a arte e ciência de criação de uma representação de um processo ou sistema com o propósito de experimentação e avaliação (Gogg & Mott, 1993).
- Simulação é o processo de criação de um modelo de um sistema real e a condução de experimento com este modelo para entender o funcionamento do sistema e/ou avaliação de várias estratégias operacionais (Pegden et al., 1995).

Prado (1999) cita que o que leva ao uso da simulação são duas situações:

- A inviabilidade da inferência como o sistema real. Trata-se daquela situação em que tentar alterar o sistema existente, sem ter uma certeza de que a alteração vai dar certo pode significar um alto risco de prejuízo. Como, por exemplo, se deseja alterar o layout de uma fábrica ou fluxo de trânsito de uma cidade.

- A inexistência do sistema em estudo, como por exemplo, quando se estuda a construção de uma nova fábrica.

Para facilitar o entendimento do que é simulação e do seu funcionamento serão apresentados inicialmente alguns conceitos:

- **Sistema:** Segundo Banks et al. (1996), sistema pode ser definido como um grupo de objetos que são reunidos em alguma interação ou interdependência, a fim de alcançar algum propósito. Os componentes de um sistema em uma produção, de acordo como Gavira (2003) podem ser representados por:
 - Produtos: uma entidade que é um objeto de interesse no sistema.
 - Tempos de Processamento: um atributo que é uma propriedade de uma entidade/produto.
 - Transformação do Produto: uma atividade que é o que representa um período de tempo de duração específica
 - Quebra de uma máquina ou a emissão de um pedido: um evento que é uma ocorrência que pode mudar o estado do sistema.
- **Modelo:** Shannon (1975) define modelo como a representação de um objeto ou idéia em alguma forma que não a entidade. Modelos têm se tornado largamente aceitos para estudar fenômenos complexos. Um modelo comparado com um sistema real pode lidar com as informações a um baixo custo, além de o conhecimento ser obtido mais rapidamente do que no sistema real. Ackoff & Sasieni (1997), relatam que embora um grande número de variáveis seja necessário para prever um fenômeno com perfeita exatidão, um pequeno número de variáveis geralmente explica a maior parte dele. O que é importante na verdade é descobrir quais variáveis são relevantes para a avaliação do problema que se deseja estudar.

O tipo de simulação usada neste trabalho é a simulação de eventos discretos. Nesse tipo de simulação os eventos ocorridos são distintos por marcas de tempo.

Esse tipo de simulação tem sido usado nas áreas de simulação de fluxo de materiais, análise de sistema de manufatura e simulação de fluxo de informação. Essas aplicações têm

side usadas para diminuir, usando uma precisão desejada, o inventário, e o tempo em processo tempo de transporte, entre outros.

Capítulo 3 - Sistemas Nebulosos

Já há muitos anos os sistemas nebulosos (ou sistemas *fuzzy*) vêm sendo utilizados para resolução de problemas que poderiam ser resolvidos fazendo uso da teoria dos conjuntos tradicional se não fosse a dificuldade de se definir a qual conjunto pertence um determinado elemento do universo em questão.

Com o avanço dos estudos em Inteligência Artificial (IA) percebeu-se que o pensamento humano é contínuo, ou seja, não se tem, em grande parte dos casos, o costume e nem a necessidade de se determinar exatamente o limite entre um estado e outro.

Exemplo disso são os cálculos que uma pessoa realiza mentalmente ao atravessar uma rua. É inviável e desnecessário determinar exatamente a velocidade do carro, a distância, calcular o momento em que ele chegará ao ponto por onde a pessoa pretende atravessar a rua e calcular a velocidade que a pessoa terá que desenvolver para chegar ao outro lado antes do veículo passar. Na verdade o que é feito é verificar:

- Se a velocidade do carro está mais próxima de ser rápida, média ou lenta.
- Se a distância do carro está mais próxima de ser longa, média ou curta.

E assim a pessoa é capaz de estimar se ela terá que esperar o veículo passar ou se terá que atravessar correndo ou devagar.

Os sistemas nebulosos procuram imitar este tipo de raciocínio. Para delimitar estes conjuntos numericamente os sistemas nebulosos utilizam a teoria de conjuntos nebulosos descrita inicialmente por Zadeh (1965).

O estudo dos conjuntos nebulosos procura resolver problemas de pertinência aos conjuntos determinando funções de pertinência que retornem valores entre 0 e 1 determinando o quanto o elemento está em um conjunto.

Como exemplo pode-se tomar um caso de conforto térmico. Para determinarmos se um dia é quente, confortável ou frio não consideramos apenas a temperatura ambiente, mas também o vento, a umidade relativa do ar e a presença do sol, conforme apresentado no gráfico da Figura 3.1, obtido no “*site*” do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Também se pode observar no gráfico da Figura 3.1 que para determinar que o dia é confortável pode-se determinar regras, como por exemplo:

Se a Temperatura do ar está entre 20 e 30°C e a Umidade Relativa está entre 30 e 80% o dia é confortável.

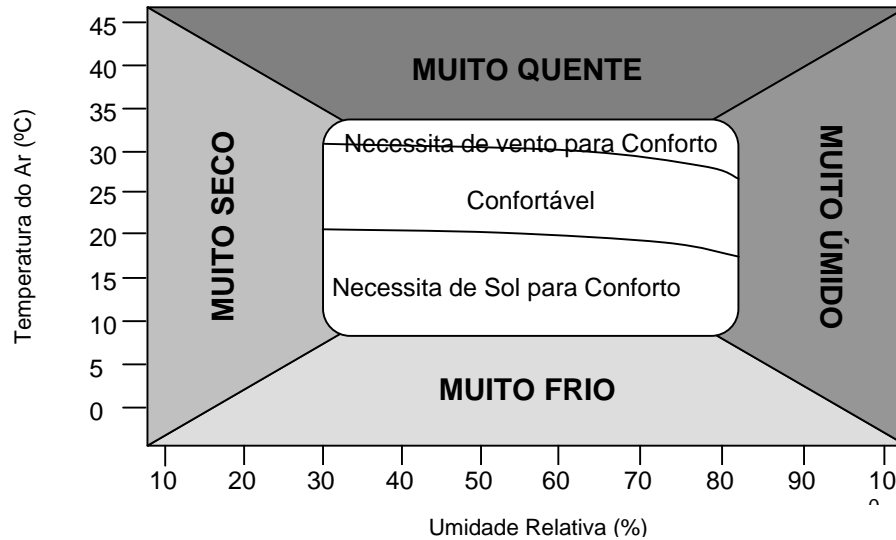


Figura 3.1 – Gráfico do Conforto Humano (INMET, 2003).

Mas se a temperatura for 30°C e a Umidade Relativa for 80% esta regra falharia, pois não atenderia por completo as indicações do gráfico. Além do fato de ser uma tarefa bastante complexa gerar uma função envolvendo a temperatura, a umidade e velocidade do vento, não é possível delimitar um ponto onde antes dele todas as pessoas se sintam confortáveis e passando deste ponto todas as pessoas se sintam desconfortáveis, pois até mesmo o gráfico da Figura 3.1 pode ser questionado, pois o conforto dependerá da opinião de cada um.

Para a resolução desse problema em sistemas nebulosos determinam-se funções de pertinência o que possibilita afirmar que certo valor possa pertencer, por exemplo, 65% a um conjunto e 35% a outro conjunto e então poderíamos reescrever a regra anterior da seguinte maneira:

Se a Temperatura do Ar for Média e a Umidade Relativa for Média o dia está confortável.

3.1. Conjuntos Nebulosos e Funções de Pertinência.

Como nos exemplos citados no início desse capítulo a tarefa de se determinar quais são os conjuntos de cada variável e suas funções de pertinência são duas tarefas de vital importância para a resolução de um sistema nebuloso bem como para o seu funcionamento.

O objetivo de criar conjuntos nebulosos é converter valores numéricos em valores literais, que também podem ser chamados de valores lingüísticos, onde os valores das variáveis de temperatura, tamanho, comprimento, velocidade entre outros possam ser convertidos em valores lingüísticos literais como quente, frio, grande, pequeno, alto, baixo, rápido e lento entre outros.

Para essa conversão são criadas funções de pertinência, ou seja, funções que resultem em valores que indicam o quanto um determinado elemento pertence a um determinado conjunto. Como exemplo podemos considerar a estatura de uma mulher:

Se ela tiver a altura de 1,80 m, com certeza esta mulher será considerada alta.

Se ela tiver a altura de 1,50 m, com certeza esta mulher será considerada baixa.

Se ela tiver a altura de 1,65 m, podemos considerá-la como uma mulher de estatura mediana.

Já se ela tiver a altura de 1,60 m, podemos tanto considerá-la como uma mulher de estatura mediana como uma mulher baixa.

É neste último caso que se faz necessária à função de pertinência, portanto as funções de pertinência para os conjuntos Alta, Mediana e Baixa podem ser descritas como se segue nas equações Tabela 3.1 que descreve de forma parametrizada funções triangulares mostradas na forma gráfica na Figura 3.2 :

Tabela 3.1 – Funções de Pertinência aos conjuntos nebulosos da estatura da mulher.

$f_{Alta}(x) = 0$ Para $(x \leq 1,65)$ $f_{Alta}(x) = (x - 1,65) * 20 / 3$ Para $(1,65 < x < 1,80)$ $f_{Alta}(x) = 1$ Para $(x \geq 1,80)$	$f_{Mediana}(x) = 0$ Para $(x \leq 1,50)$ $f_{Mediana}(x) = (x - 1,50) * 20 / 3$ Para $(1,50 < x < 1,65)$ $f_{Mediana}(x) = (1,80 - x) * 20 / 3$ Para $(1,65 \leq x < 1,80)$ $f_{Mediana}(x) = 0$ Para $(x \geq 1,80)$	$f_{Baixa}(x) = 1$ Para $(x \leq 1,50)$ $f_{Baixa}(x) = (1,65 - x) * 20 / 3$ Para $(1,50 < x < 1,65)$ $f_{Baixa}(x) = 0$ Para $(x \geq 1,65)$
---	---	--

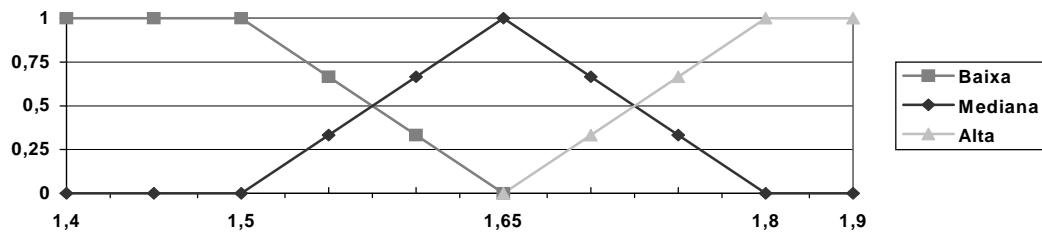


Figura 3.2 – Exemplo de Gráfico das funções de pertinência dos Conjuntos Nebulosos relativos a estatura da mulher

A teoria dos conjuntos nebulosos possui similaridade com a teoria dos conjuntos ordinários (conjuntos ordinários são conjuntos cuja função de pertinência resulta em apenas 2 valores, por exemplo 0 e 1). Essa teoria de conjuntos foi descrita em Zadeh (1965), onde são demonstradas algumas definições:

Igualdade: A é igual a B, se somente se $f_A(x) = f_B(x)$ para todo x pertencente ao Universo.

Complemento: O complemento do conjunto A, denotado como A' é definido por:

$$f_{A'} = 1 - f_A \tag{3.1}$$

Contido: A está contido em B (ou, A é um Subconjunto de B) se somente se $f_A \leq f_B$.

$$A \subset B \Leftrightarrow f_A \leq f_B \quad (3.2)$$

União: A união de dois conjuntos A e B é o conjunto formado pelos valores máximos entre $f_A(x)$ e $f_B(x)$ para cada x pertencente ao Universo.

$$\text{Se } C = A \cup B \text{ então } f_C(x) = \text{MAX} [f_A(x), f_B(x)] \quad (3.3)$$

Considerando o exemplo da estatura da mulher, a união entre o Conjunto Mediana e o Conjunto Alta pode ser representada graficamente a conforme a Figura 3.3.

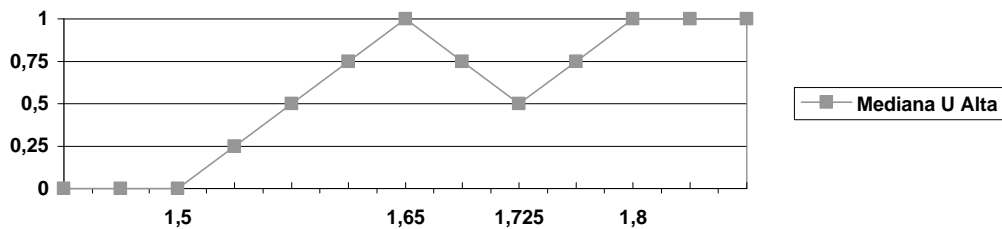


Figura 3.3 – Exemplo de Gráfico da função de pertinência de Mediana \cup Alta dos Conjuntos Nebulosos relativos a estatura da mulher

Intersecção: A Intersecção de dois conjuntos A e B é o conjunto formado pelos valores mínimos entre $f_A(x)$ e $f_B(x)$ para cada x pertencente ao Universo.

$$\text{Se } C = A \cap B \text{ então } f_C(x) = \text{MIN} [f_A(x), f_B(x)] \quad (3.4)$$

Considerando o exemplo da estatura da mulher, a Intersecção entre o Conjunto Mediana e o Conjunto Alta pode ser representada graficamente a conforme a Figura 3.4.

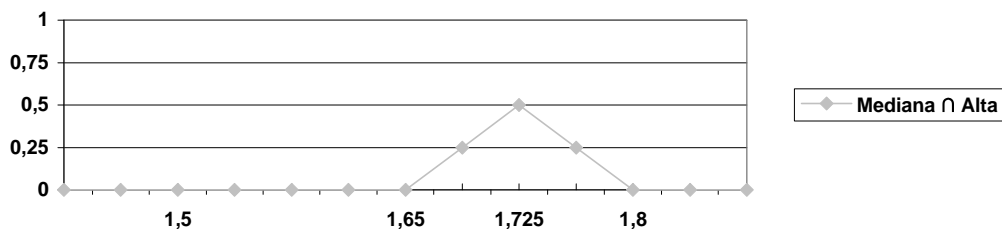


Figura 3.4 – Exemplo de Gráfico da função de pertinência de Mediana \cap Alta dos Conjuntos Nebulosos relativos à estatura da mulher

3.2. Lógica Nebulosa

A lógica nebulosa é uma generalização da lógica multivalorada (lógica onde os valores verdade podem ser um determinado valor pertencente a um conjunto de valores específico, de forma descontínua), que trabalha com valores verdade que pertençam a um conjunto, podendo então uma expressão lógica ter como valor verdade qualquer valor que esteja entre 0 e 1, ou ainda, se for objetivo final, podem ser obtidos valores verdade que variam de acordo com uma escala desejada.

Como já comentado as variáveis lingüísticas são associadas a funções de pertinência que determinam o quanto um determinado valor de uma variável pertence ao conjunto.

Estas variáveis podem ser alteradas por modificadores lingüísticos, como, por exemplo, os modificadores muito, não e razoavelmente, que foram usados em Bojadziev & Bojadziev (1995) conforme descrito a seguir:

$$\text{Se } f_{\text{Mediana}}(\mathbf{x}) = \mathbf{Y} \quad \text{então} \quad \mu_{\text{nãoMediana}}(\mathbf{x}) = 1 - \mathbf{Y} \quad (3.5)$$

$$\text{Se } f_{\text{Mediana}}(\mathbf{x}) = \mathbf{Y} \quad \text{então} \quad \mu_{\text{muitoMediana}}(\mathbf{x}) = \mathbf{Y}^2 \quad (3.6)$$

$$\text{Se } f_{\text{Mediana}}(\mathbf{x}) = \mathbf{Y} \quad \text{então} \quad \mu_{\text{razoavelmenteMediana}}(\mathbf{x}) = \mathbf{Y}^{1/2} \quad (3.7)$$

Representando graficamente a função de pertinência do conjunto nebuloso Mediana com os modificadores obtém-se o gráfico da Figura 3.5, onde se pode observar que o valor função Mediana com o modificador Razoavelmente é maior no ponto 1,70 do que a função Mediana sem modificadores. Este fato poderia ser interpretado com: uma mulher com 1,70 metros de altura é mais Razoavelmente Mediana do que Mediana.

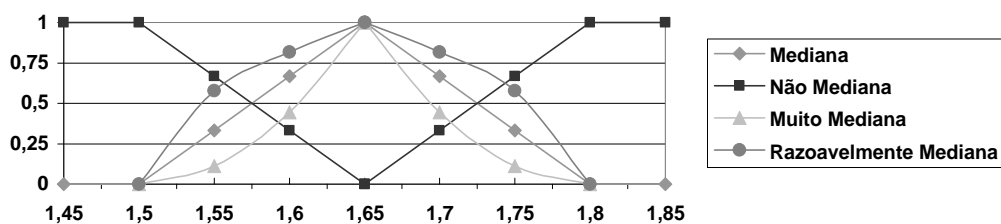


Figura 3.5 – Gráfico da função de pertinência do conjunto nebuloso Mediana, relativo à estatura da mulher com modificadores lingüísticos Não, Muito e Razoavelmente.

Usando a lógica bivalente, uma proposição p possui valor verdadeiro ou falso. Em lógica nebulosa uma proposição p é verdade em um determinado grau, de acordo com a função de pertinência. Continuando no exemplo da estatura da mulher considere verdade as seguintes proposições:

Andreza tem 1,55 metros de altura

Silvana tem 1,75 metros de altura

Pode-se concluir então, de acordo com as funções de pertinência e modificadores apresentados anteriormente, para as proposições seguintes:

Andreza é Baixa (valor verdade 0,666...).

Andreza é Razoavelmente Baixa (valor verdade 0,816...).

Andreza é Alta (valor verdade 0).

Andreza é Mediana (valor verdade 0,333...).

Silvana é Baixa (valor verdade 0).

Silvana é Alta (valor verdade 0,666...).

Silvana é Razoavelmente Alta (valor verdade 0,816...).

Silvana é Mediana (valor verdade 0,333...).

De acordo com a necessidade de implementação podem ser inseridos outros modificadores lingüísticos, que serão descritos conforme sua utilização.

Para melhor ilustrar o assunto será apresentado um estudo do exemplo mostrado no início desse capítulo referente ao conforto climático para humanos. O objetivo é a obtenção de um valor que indique o quanto o ambiente está confortável.

As variáveis com valores conhecidos serão a Temperatura e a Umidade, apesar de existirem outras variáveis necessárias para se determinar o conforto. A variável objetivo será a qualidade do ambiente.

Inicialmente serão determinadas as funções de pertinência relativas à variável Temperatura, que possuirá cinco conjuntos nebulosos, Muito Fria, Fria, Média, Quente e Muito Quente, conforme as equações da Tabela 3.2 e o gráfico da Figura 3.6.

Serão determinadas as funções de pertinência relativas à variável Umidade, que possuirá três conjuntos nebulosos, Seca, Média e Úmida, conforme as equações da Tabela 3.3 e o gráfico da Figura 3.7.

Tabela 3.2 – Funções de pertinência dos conjuntos nebulosos relativos a temperatura

$f_{\text{MuitoFria}}(\mathbf{x}) = 1$ Para $(\mathbf{x} \leq 10)$ $f_{\text{MuitoFria}}(\mathbf{x}) = (15 - \mathbf{x}) / 5$ Para $(10 < \mathbf{x} < 15)$ $f_{\text{Fria}}(\mathbf{x}) = 0$ Para $(\mathbf{x} \geq 15)$	$f_{\text{Média}}(\mathbf{x}) = 0$ Para $(\mathbf{x} \leq 15)$ ou $(\mathbf{x} \geq 35)$ $f_{\text{Média}}(\mathbf{x}) = (\mathbf{x} - 15) / 5$ Para $(15 < \mathbf{x} < 20)$	$f_{\text{Quente}}(\mathbf{x}) = 0$ Para $(\mathbf{x} \leq 30)$ ou $(\mathbf{x} \geq 40)$ $f_{\text{Quente}}(\mathbf{x}) = (\mathbf{x} - 30) / 5$ Para $(30 < \mathbf{x} \leq 35)$ $f_{\text{Quente}}(\mathbf{x}) = (40 - \mathbf{x}) / 5$ Para $(35 < \mathbf{x} < 40)$
$f_{\text{Fria}}(\mathbf{x}) = 0$ Para $(\mathbf{x} \leq 10)$ ou $(\mathbf{x} \geq 20)$ $f_{\text{Fria}}(\mathbf{x}) = (\mathbf{x} - 10) / 5$ Para $(10 < \mathbf{x} \leq 15)$ $f_{\text{Fria}}(\mathbf{x}) = (20 - \mathbf{x}) / 5$ Para $(15 < \mathbf{x} < 20)$	$f_{\text{Média}}(\mathbf{x}) = 1$ Para $(20 < \mathbf{x} < 30)$ $f_{\text{Média}}(\mathbf{x}) = (35 - \mathbf{x}) / 5$ Para $(30 \leq \mathbf{x} < 35)$	$f_{\text{MuitoQuente}}(\mathbf{x}) = 0$ Para $(\mathbf{x} \leq 35)$ $f_{\text{MuitoQuente}}(\mathbf{x}) = (\mathbf{x} - 35) / 5$ Para $(35 < \mathbf{x} < 40)$ $f_{\text{MuitoQuente}}(\mathbf{x}) = 1$ Para $(\mathbf{x} \geq 40)$

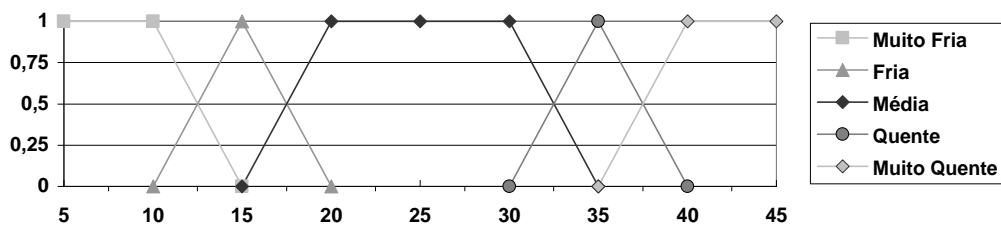


Figura 3.6 – Gráfico das funções de pertinência dos Conjuntos Nebulosos relativos à temperatura

Tabela 3.3 – Funções de pertinência dos conjuntos nebulosos relativos à umidade

$f_{\text{Seca}}(\mathbf{x}) = 1$ Para $(\mathbf{x} \leq 20)$ $f_{\text{Seca}}(\mathbf{x}) = (40 - \mathbf{x}) / 20$ Para $(20 < \mathbf{x} < 40)$ $f_{\text{Seca}}(\mathbf{x}) = 0$ Para $(\mathbf{x} \geq 40)$	$f_{\text{Média}}(\mathbf{x}) = 0$ Para $(\mathbf{x} \leq 20) \text{ ou } (\mathbf{x} \geq 90)$ $f_{\text{Média}}(\mathbf{x}) = (\mathbf{x} - 20) / 20$ Para $(20 < \mathbf{x} < 40)$ $f_{\text{Média}}(\mathbf{x}) = 1$ Para $(40 < \mathbf{x} < 70)$ $f_{\text{Média}}(\mathbf{x}) = (90 - \mathbf{x}) / 20$ Para $(70 \leq \mathbf{x} < 90)$	$f_{\text{Úmida}}(\mathbf{x}) = 0$ Para $(\mathbf{x} \leq 70)$ $f_{\text{Úmida}}(\mathbf{x}) = (\mathbf{x} - 70) / 20$ Para $(70 < \mathbf{x} < 90)$ $f_{\text{Úmida}}(\mathbf{x}) = 1$ Para $(\mathbf{x} \geq 90)$
* Valores em %		

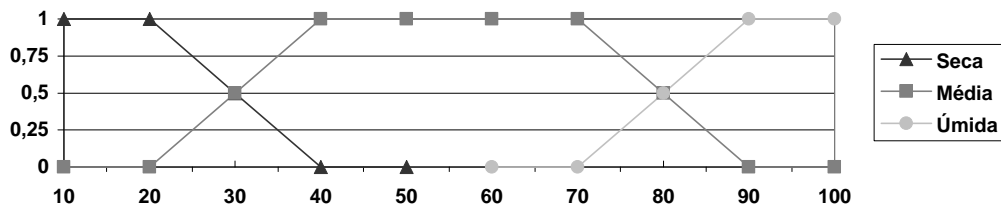


Figura 3.7 – Gráfico das funções de pertinência dos conjuntos nebulosos relativos à umidade

Para encontrar a qualidade do ambiente é preciso determinar regras de produção que relacionem estes conjuntos nebulosos. Fazendo uso do gráfico da Figura 3.1, do conhecimento de senso comum e dos modificadores lingüísticos, podem ser geradas algumas regras como as que se seguem.

- (1) Se a **Temperatura** é **Quente** e a **Umidade** é **Média** o Ambiente é **Precisa de Vento** para o **Conforto**.
- (2) Se a **Temperatura** é **Fria** e a **Umidade** é **Média** o Ambiente é **Precisa de Sol** para o **Conforto**.
- (3) Se a **Temperatura** é **Média** e a **Umidade** é **Média** o Ambiente é **Confortável**.
- (4) Se a **Temperatura** é **Razoavelmente Fria** e a **Umidade** é **Muito Média** o Ambiente é **Confortável**.

Observando-se a regra (1) conclui-se que a intersecção do conjunto nebuloso Quente, relativo à variável Temperatura, com o conjunto nebuloso Média, relativo à variável Umidade, resulta em um conjunto Precisa de Vento para o conforto, que matematicamente pode ser representado conforme Equações (3.8) e (3.9).

$$\text{Precisa de Vento Para o Conforto} = \text{Quente}_{\text{Temp.}} \cap \text{Média}_{\text{Umid}} \quad (3.8)$$

Ou ainda:

$$f_{\text{Precisa de Vento para o Conforto}}(\mathbf{x}) = \text{Min}[f_{\text{QuenteTemp.}}(\mathbf{x}); f_{\text{MédiaUmid.}}(\mathbf{x})] \quad (3.9)$$

Observando as regras (3) e (4) pode-se concluir que o conjunto confortável é resultado da união entre as duas regras, que a regra (3) é resultado da intersecção entre os conjuntos Média, relativo à Temperatura, e Média Relativo à Umidade, e que a regra (4) é resultado da intersecção entre os conjuntos Fria com o modificador lingüístico Razoavelmente, relativo à Temperatura, e Média com o modificador lingüístico Muito, relativo à Umidade. O conjunto confortável pode ser representado matematicamente conforme Equações (3.10) e (3.11).

$$\text{Confortável} = (\text{Média}_{\text{temp}} \cap \text{Média}_{\text{umid}}) \cup (\text{Razoav}(\text{Fria}_{\text{Temp}}) \cap \text{Muito}(\text{Média}_{\text{Umid}})) \quad (3.10)$$

Ou ainda:

$$f_{\text{Conf}}(\mathbf{x}) = \text{Max}\{ \text{Min}[f_{\text{MédiaTemp}}(\mathbf{x}); f_{\text{MédiaUmid}}(\mathbf{x})]; \text{Min}[f_{\text{Raz.FriaTemp}}(\mathbf{x}); f_{\text{MUITOMédiaUmid}}(\mathbf{x})] \} \quad (3.11)$$

Na Figura 3.8 e na Figura 3.9 estão representados os gráficos das intersecções $(\text{Média}_{\text{temp}} \cap \text{Média}_{\text{umid}})$ e $(\text{Razoavelmente}(\text{Fria}_{\text{Temp.}}) \cap \text{Muito}(\text{Média}_{\text{Umid.}}))$ respectivamente e na Figura 3.10 foi representada a função de pertinência do conjunto Confortável.

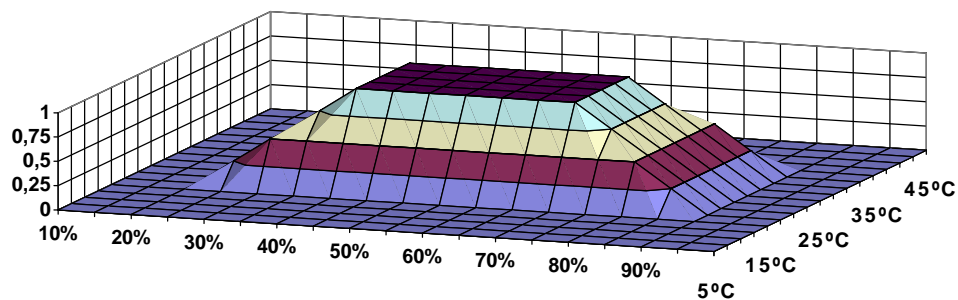


Figura 3.8 – Gráfico da Intersecção - Média(Temperatura) \cap Média(Umididade)

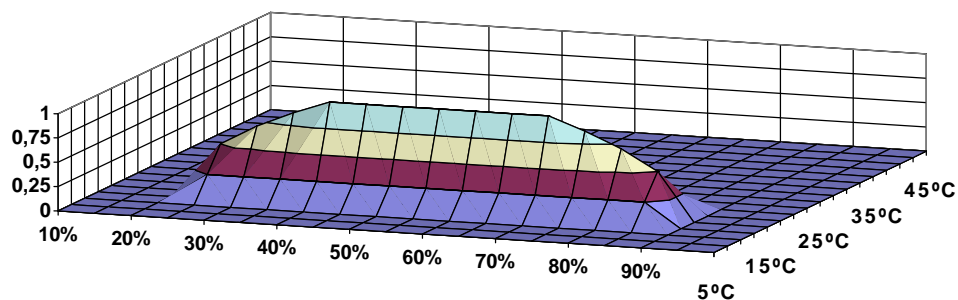


Figura 3.9 – Gráfico da Intersecção Razoavelmente Fria(Temperatura) \cap Muito Média(Umididade)

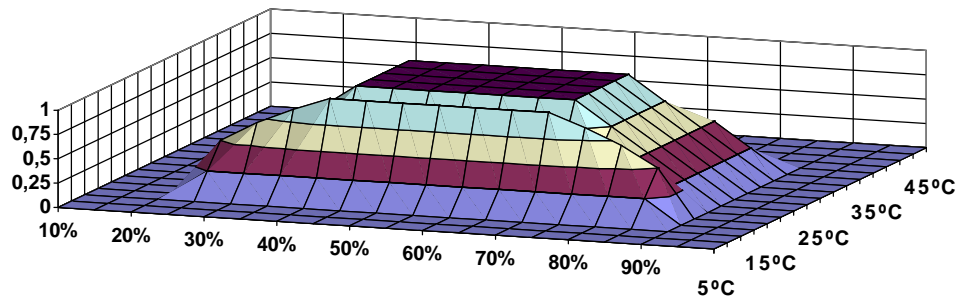


Figura 3.10 – Gráfico do conjunto nebuloso Confortável Resultado da União dos conjuntos dos gráficos da Figura 3.8 e da Figura 3.9

3.3. Sistemas Nebulosos

A lógica nebulosa vem sendo utilizada para desenvolver sistemas em que o uso da lógica tradicional é complexo ou inviável pelo fato das variáveis terem comportamentos nebulosos. Os sistemas que fazem uso da lógica nebulosa são chamados de Sistemas Nebulosos. Os sistemas nebulosos estão sendo utilizados para desenvolver sistemas de controle e de apoio à tomada de decisão, entre outros.

O modelo de inferência que será considerado na descrição desses passos será o Modelo de Mamdani, proposto em Mamdani et al. (1974) e descrito em Rezende et al. (2003) que cita o modelo como um método de inferência que foi por muitos anos um padrão para a utilização dos conceitos da lógica nebulosa em processamento de inteligência. Este modelo utiliza regras de produção com conjuntos nebulosos tanto na entrada como na saída do sistema.

A primeira tarefa para se criar um Sistema Nebuloso (Sistema *Fuzzy*) é a definição das variáveis de entrada e de saída. Nessa escolha é importante analisar se as variáveis de entrada são realmente importantes na resolução do problema e que tais variáveis não estejam diretamente relacionadas. Tome-se como exemplo, em um sistema que controle o *buffer* de entrada de uma máquina escolhendo qual deve ser manipulada primeiro. Não seria bom escolher como variáveis de entrada do sistema o tempo total, o tempo gasto e o tempo restante para a produção, tendo-se em vista que com duas dessas variáveis é possível encontrar a terceira.

É importante salientar que a complexidade do sistema aumenta exponencialmente na medida em que se aumenta a quantidade de variáveis e que a quantidade de variáveis de saída não se limita a uma.

A segunda tarefa é a escolha dos conjuntos nebulosos que podem dividir o universo de valores de cada variável em quantos conjuntos forem necessários para se atingir a precisão exigida pelo sistema. Escolhidos os conjuntos se determina então as funções de pertinência de cada conjunto. As funções de pertinência dos conjuntos de entrada e de saída determinam como serão convertidos os valores numéricos (escalares) das variáveis em variáveis lingüísticas (conjuntos nebulosos) com um grau de pertinência.

Depois de escolher as variáveis de entrada e de descrever os conjuntos é necessário que sejam determinadas as regras de produção que relacionam tais conjuntos. No exemplo do tópico 3.2. uma das regras poderia ser:

Se a **Temperatura é Fria** e a **Umidade é Baixa** o **Aquecedor** então **Potência Alta**.

Sendo que Potência Alta seria um conjunto nebuloso da variável de saída Aquecedor, portanto as regras relacionam os conjuntos nebulosos de entrada que implicam em determinado conjunto nebuloso de saída.

A utilização das regras é feita na inferência e esta pode seguir alguns modelos a citar o de Takagi-Sugeno-Kang e o de Mamdani, sendo que este último é o que será utilizado nesse trabalho. O Modelo de Mamdani usa a inferência chamada de inferência Máx-Min que utiliza as operações de união e interseção entre os conjuntos da mesma forma que Zadeh (Rezende et al., 2003), por meio de operadores de máximo e mínimo respectivamente. O valor de pertinência dos conjuntos das variáveis de saída (Equação 3.12) é igual ao máximo valor de pertinência dentre os valores de pertinência das regras que originam determinado conjunto. O valor de pertinência de uma regra é o mínimo valor de pertinência dos conjuntos nebulosos de entrada que compõem a regra.

$$Y = \text{Máximo}[\text{Mínimo}[X_i, Z_i, W_i], \dots, \text{Mínimo}[X_k, Z_k, W_k]] \quad (3.12)$$

Onde:

Y = Valor de Pertinência ao Conjunto nebuloso de saída

X_i, Z_i, W_i e X_k, Z_k, W_k São os valores de pertinência dos conjuntos nebulosos que compõe as regras i e k respectivamente

Depois de encontrada esta pertinência ela é usada junto às funções de pertinência para converter as variáveis lingüísticas em valores numéricos. Tais valores podem ser obtidos de diversas maneiras sendo que os mais usados são o método do centro de massa e o método da média dos máximos (Rezende 2003). Nesse trabalho será usado o método do centro de massa, Nesse método é calculado a massa e o centro de massa de cada conjunto, de acordo com o valor de pertinência ao conjunto e sua função de pertinência. Tendo esses valores em mãos é obtido o centro de massa segundo a Equação (3.13).

$$\text{Centro de massa} = \frac{\sum_{Y_i \in U} (Y_i * x_i)}{\sum_{Y_i \in U} (Y_i)} \quad (3.13)$$

Onde:

y_i = Massa do conjunto i .
 x_i = Centro de Massa do conjunto i .

O sistema nebuloso fica com os elementos e a estrutura apresentado na Figura 3.11.

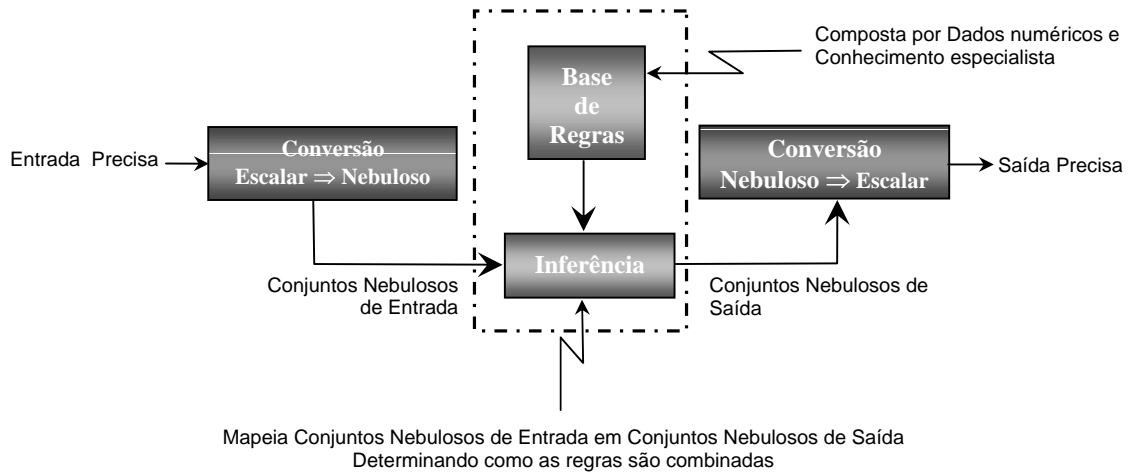


Figura 3.11– Sistema Nebuloso pelo Modelo de Mamdani

Para melhor entendimento da elaboração do sistema nebuloso será utilizado o exemplo que determinará o controle de aceleração e de desaceleração de um automóvel em uma estrada em linha reta.

Serão escolhidas como variáveis de entrada a Velocidade e a Espessura da Película de Água no Solo (que será citada apenas como Água, a partir deste ponto) e como variável de saída a Aceleração. A função de pertinência da variável de entrada Velocidade está na Tabela 3.4 e seu gráfico na Figura 3.12. A função de pertinência da variável de entrada Água está na Tabela 3.5 e seu gráfico na Figura 3.13. A função de pertinência da variável de saída Aceleração está na Tabela 3.6 e seu gráfico na Figura 3.14.

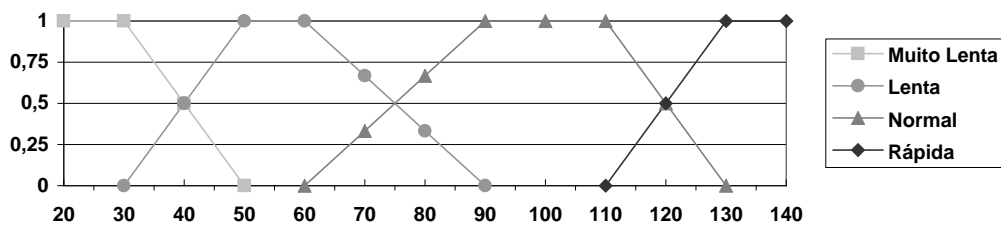


Figura 3.12 – Gráfico das funções de pertinência dos Conjuntos Nebulosos relativos à Velocidade

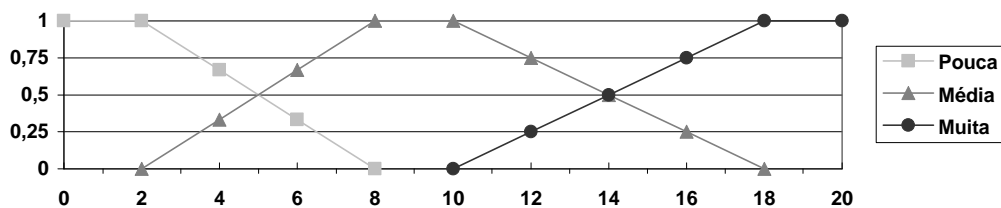


Figura 3.13 – Gráfico das funções de pertinência dos Conjuntos Nebulosos relativos à Água

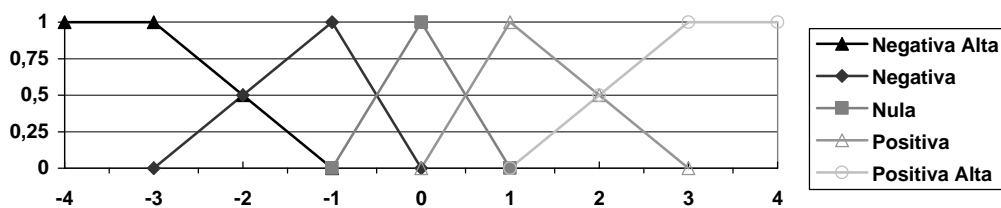


Figura 3.14 – Gráfico das funções de pertinência dos Conjuntos Nebulosos relativos à Aceleração

Tabela 3.4 – Funções de pertinência dos conjuntos nebulosos relativos à Velocidade

$f_{\text{MtoLento}}(\mathbf{x})=1$	$f_{\text{Lenta}}(\mathbf{x})=0$	$f_{\text{Normal}}(\mathbf{x})=0$	$f_{\text{Rápida}}(\mathbf{x})=0$
Para $(\mathbf{x} \leq 30)$	Para $(\mathbf{x} \leq 30)$	Para $(\mathbf{x} \leq 30)$	Para $(\mathbf{x} \leq 110)$
$f_{\text{MtoLento}}(\mathbf{x})=(50-\mathbf{x})/20$	ou $(\mathbf{x} \geq 50)$	ou $(\mathbf{x} \geq 50)$	$f_{\text{Rápida}}(\mathbf{x})=(\mathbf{x}-110)/20$
Para $(30 < \mathbf{x} < 50)$	$f_{\text{Lenta}}(\mathbf{x})=(\mathbf{x}-30)/20$	$f_{\text{Normal}}(\mathbf{x})=(\mathbf{x}-60)/30$	Para $(110 < \mathbf{x} \leq 130)$
$f_{\text{MtoLento}}(\mathbf{x})=0$	Para $(30 < \mathbf{x} < 50)$	Para $(60 < \mathbf{x} < 90)$	$f_{\text{Rápida}}(\mathbf{x})=1$
Para $(\mathbf{x} \geq 50)$	$f_{\text{Lenta}}(\mathbf{x})=1$	$f_{\text{Normal}}(\mathbf{x})=1$	Para $(\mathbf{x} \geq 130)$
	Para $(50 \leq \mathbf{x} < 60)$	Para $(90 \leq \mathbf{x} < 110)$	
	$f_{\text{Lenta}}(\mathbf{x})=(90-\mathbf{x})/30$	$f_{\text{Normal}}(\mathbf{x})=(130-\mathbf{x})/20$	
	Para $(60 \leq \mathbf{x} < 90)$	Para $(110 \leq \mathbf{x} < 130)$	

Tabela 3.5 – Funções de pertinência dos conjuntos nebulosos relativos à Água

$f_{\text{Pouca}}(\mathbf{x})=1$	$f_{\text{Média}}(\mathbf{x})=0$	$f_{\text{Úmida}}(\mathbf{x})=0$
Para $(\mathbf{x} \leq 2)$	Para $(\mathbf{x} \leq 2)$ ou $(\mathbf{x} \geq 18)$	Para $(\mathbf{x} \leq 10)$
$f_{\text{Pouca}}(\mathbf{x})=(8-\mathbf{x})/6$	$f_{\text{Média}}(\mathbf{x})=(\mathbf{x}-2)/6$	$f_{\text{Úmida}}(\mathbf{x})=(\mathbf{x}-10)/8$
Para $(2 < \mathbf{x} < 8)$	Para $(2 < \mathbf{x} < 8)$	Para $(10 < \mathbf{x} < 18)$
$f_{\text{Pouca}}(\mathbf{x})=0$	$f_{\text{Média}}(\mathbf{x})=1$	$f_{\text{Úmida}}(\mathbf{x})=1$
Para $(\mathbf{x} \geq 8)$	Para $(8 < \mathbf{x} < 10)$	Para $(\mathbf{x} \geq 18)$
	$f_{\text{Média}}(\mathbf{x})=(18-\mathbf{x})/8$	
	Para $(10 \leq \mathbf{x} < 18)$	
* Valores em milímetros		

Tabela 3.6 – Funções de pertinência dos conjuntos nebulosos relativos à Aceleração

$f_{\text{NegativaAlta}}(\mathbf{x})=1$ Para $(\mathbf{x} \leq -3)$	$f_{\text{Negativa}}(\mathbf{x})=0$ Para $(\mathbf{x} \leq -3)$ ou $(\mathbf{x} \geq 0)$	$f_{\text{Nula}}(\mathbf{x})=0$ Para $(\mathbf{x} \leq -1)$ ou $(\mathbf{x} \geq -1)$
$f_{\text{NegativaAlta}}(\mathbf{x})=(-1-\mathbf{x})/2$ Para $(-3 < \mathbf{x} < -1)$	$f_{\text{Negativa}}(\mathbf{x})=(\mathbf{x}+3)/2$ Para $(-3 < \mathbf{x} < -1)$	$f_{\text{Nula}}(\mathbf{x})=(\mathbf{x}+1)$ Para $(-1 < \mathbf{x} < 0)$
$f_{\text{NegativaAlta}}(\mathbf{x})=0$ Para $(\mathbf{x} \geq -2)$	$f_{\text{Negativa}}(\mathbf{x})=(1+\mathbf{x})$ Para $(-1 \leq \mathbf{x} < 0)$	$f_{\text{Nula}}(\mathbf{x})=(1-\mathbf{x})$ Para $(0 \leq \mathbf{x} < 1)$
$f_{\text{Positiva}}(\mathbf{x})=0$ Para $(\mathbf{x} \leq 0)$ ou $(\mathbf{x} \geq 3)$	$f_{\text{PositivaAlta}}(\mathbf{x})=0$ Para $(\mathbf{x} \leq 3)$	
$f_{\text{Positiva}}(\mathbf{x})=(\mathbf{x})$ Para $(0 < \mathbf{x} < 1)$	$f_{\text{PositivaAlta}}(\mathbf{x})=(\mathbf{x}-1)/2$ Para $(1 < \mathbf{x} < 3)$	
$f_{\text{Positiva}}(\mathbf{x})=(3-\mathbf{x})/2$ Para $(1 \leq \mathbf{x} < 3)$	$f_{\text{PositivaAlta}}(\mathbf{x})=1$ Para $(\mathbf{x} \geq 3)$	

Com os conjuntos e funções de pertinência definidos, serão definidas as regras de produção de acordo com a tabela da Tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Regras de Produção do Sistema de Controle de Velocidade

Se Velocidade =	E Água =	Então Aceleração
Muito Lenta	Pouca	Positiva Alta
	Media	Positiva
	Muita	Nula
Lenta	Pouca	Positiva
	Media	Nula
	Muita	Negativa
Normal	Pouca	Nula
	Media	Negativa Alta
	Muita	Negativa
Rápida	Pouca	Negativa Alta
	Media	Negativa
	Muita	Negativa

O método de conversão dos valores lingüísticos para um valor escalar escolhido para este sistema foi o centro de massa. Depois de definido o sistema nebuloso foi gerado um gráfico da Aceleração em relação à Velocidade e à Água, conforme apresentado na Figura 3.15.

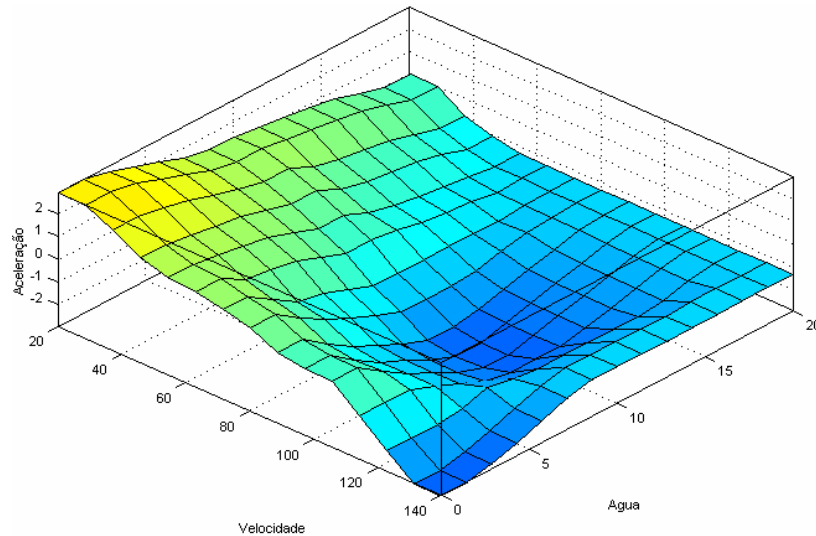


Figura 3.15 – Gráfico da Aceleração em Relação à Velocidade e à Água.

Como um exemplo do funcionamento do sistema será atribuído para as variáveis de entrada Velocidade e Água os valores 85 e 15, respectivamente. Fazendo a conversão dos valores escalares para valores nebulosos se obtém os valores verdade conforme Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Tabelas dos Valores verdade dos Conjuntos de Entrada.

Velocidade = 85	
Conjunto	Valor Verdade
Muito Lenta	0
Lenta	0,1666...
Normal	0,8333...
Rápida	0

Água = 15	
Conjunto	Valor Verdade
Pouca	0
Média	0,375
Muita	0,625

Utilizando as regras de produção são atribuídos os valores verdade para os conjuntos da variável de saída conforme a Tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Valores verdade dos Conjuntos de Saída.

Aceleração	
Conjunto	Valor Verdade
Desaceleração Rápida	0.375
Desaceleração	0.625
Estável	0.1666...
Aceleração	0
Aceleração Rápida	0

Então se inicia o processo de conversão de nebuloso para escalar. Utilizando os conjuntos de saída e suas funções de pertinência obtém-se o gráfico da Figura 3.16 e então se calcula o centro de massa da função desse gráfico para se obter a Aceleração, que é de $-1,66$.

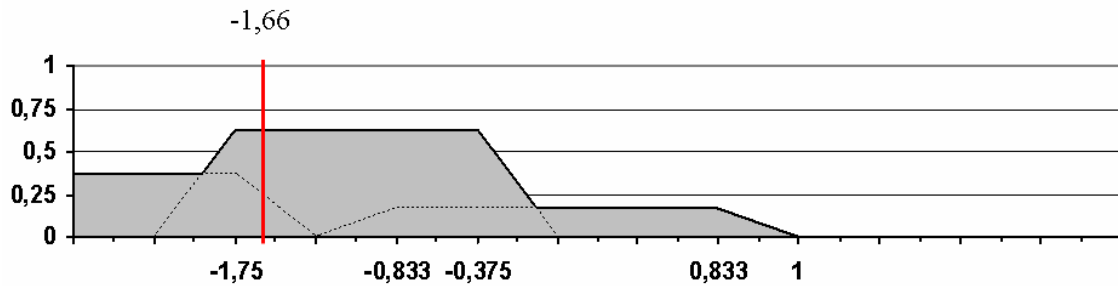


Figura 3.16 – Gráfico das funções de pertinência dos Conjuntos Nebulosos relativos a Aceleração

Capítulo 4 - Pesquisa Relacionada ao Projeto

Nesse capítulo são apresentados alguns trabalhos que utilizam, em ambientes de manufatura flexíveis, simulação, técnicas de inteligência artificial e análise de dados.

Um exemplo da utilização de simulação é uma ferramenta chamada ASPEN (Baroni et al, 2000) que integra vários módulos para simulação, análise e avaliação de desempenho de sistemas modelados por Redes de Petri. A proposta dessa ferramenta é ser um programa portátil e modular. Neste programa é possível através de um módulo gráfico modelar um sistema em redes de Petri ordinárias com temporização e predicados de ação. Através do módulo de análise é possível detectar falhas no sistema modelado. No módulo de simulação é possível observar o comportamento e as limitações do sistema modelado. O módulo de avaliação de desempenho avalia o desempenho através de estatísticas obtidas por repetidas simulações aleatórias da Rede.

Lahmar et al (2003) propõem um método integrado de re-seqüenciamento da produção usando algoritmos matemáticos que estimam os caminhos a serem percorridos pelo AGV e consideram este caminho para determinar o seqüenciamento.

Em Williams & Narayanaswamy (1997) é descrita a aplicação de análise de simulação envolvendo decisões com relação a problemas operacionais complexos de programação, seqüenciamento, e manipulação de materiais. Realizado junto à Ford Motor Company o artigo descreve que foi modelado no AutoMod^f (um software de simulação de eventos discretos) uma fábrica de automóveis com o objetivo de realizar um estudo para determinar o seqüenciamento correto de matéria prima, redução do custo de manipulação de materiais e alta utilização do recursos. Segundo os autores os objetivos previstos foram atingidos com sucesso e que foi identificado junto aos analistas e clientes propostas de expansão desse estudo de simulação.

Em Karsak & Kuzgunkaya (2000) é utilizada lógica nebulosa para seleção de configurações de um FMS em uma programação com objetivos múltiplos, onde é justificado o trabalho proposto com o apelo de considerar que as estratégias de negócio mudam constantemente e, portanto, os parâmetros a serem ponderados no sistema para escolha das configurações do FMS mudam no mesmo ritmo em que mudam as estratégias de negócios. Sendo assim o sistema para seleção deve ser tão flexível quanto o FMS. Neste artigo são considerados como parâmetros a redução do custo de mão-de-obra, a redução do trabalho no

processo, a redução do custo de organização, o aumento da resposta de mercado, a melhora na qualidade, o custo de capital e manutenção e o espaço usado no chão de fábrica.

Em (Kazerooni et al., 1997) é utilizada a lógica nebulosa para escolha de regras de produção combinando regras de seleção de máquinas com regras de despacho, sendo analisada de acordo com vários parâmetros de medição de desempenho. As regras de despacho das estações de trabalho utilizadas são: Primeiro que Entra Primeiro que Sai, Menor Tempo Restante de Processamento, Maior Tempo Restante de Processamento, Menor Tempo Total de Processamento, Maior Tempo Total de Processamento e Randômico. As regras de seleção de máquinas utilizadas são: Menor Utilização do *Buffer* de Entrada Local, Menor Distância e Randômico. Os parâmetros de medição de desempenho utilizados são *makespan*, *lead time*, atraso em *buffer*, utilização de máquina, lucro, *work in process*. Os resultados apresentados nesse artigo mostram que várias regras de programação influenciam de maneira diferente em várias medidas de desempenho. A conclusão desse artigo é que a avaliação de simulação por múltiplos-critérios usando lógica nebulosa consegue auxiliar a tomada de decisão em um curto espaço de tempo atendendo a múltiplos objetivos.

Em (Chan et al., 2000) é proposto um sistema de apoio à decisão inteligente para o projeto de FMS, conforme Figura 4.1, onde técnicas de inteligência artificial são usadas para auxiliar o uso de simulação em projetos de FMS, os autores justificam o uso da modelagem para modelar e avaliar o FMS antes da sua instalação citando que é caro avaliar o desempenho de um FMS depois da instalação.

São propostas três ferramentas que fazem uso de técnicas de inteligência artificial:

A primeira (AI-1), é um sistema especialista para iniciar o Projeto do FMS, onde é desenvolvido:

- Análise da produção de uma simulação de FMS;
- Determina se as especificidades do projeto são conhecidas;
- Indica deficiências do projeto ou possibilidades de melhoria;

Propõe projetos que superam deficiências identificadas ou que exploram as oportunidades de melhoria.

A segunda faz uso de conjuntos nebulosos para gerar funções de pertinência que serão utilizadas no Processo Hierárquico Analítico (AHP) para escolha do melhor modelo.

A terceira faz uso de redes neurais para determinar o peso de cada medida de desempenho para ser utilizada no AHP para escolha do melhor modelo.

Depois é proposto um sistema automático e integrado de projeto de processo e uma ferramenta de apoio à decisão, para integrar essas ferramentas em um sistema de projeto de FMS.

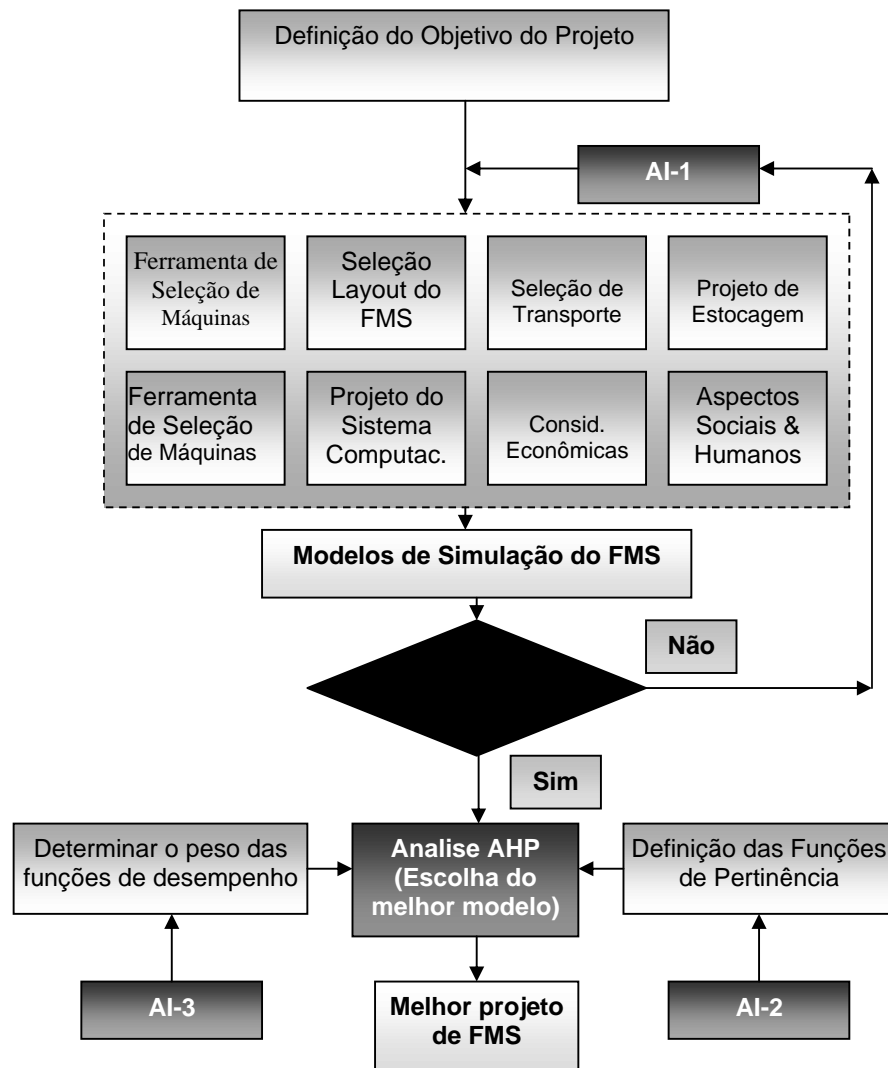


Figura 4.1 - Esboço do sistema de apoio de decisão inteligente para projeto de FMS (Chan et al. 2000)

Na conclusão desse artigo os autores relatam que a integração de técnicas de modelagem com ferramentas de inteligência artificial é eficiente para a tarefa de projeto em FMS e que o modelo proposto pode se adaptar a FMS de indústrias de vários setores.

Existem alguns trabalhos que estão sendo desenvolvidos no Laboratório de Inteligência Artificial e Automação (LIAA) do Departamento de Computação (DC) da UFSCar utilizando simulação em FMS.

Alguns trabalhos realizados no LIAA são feitos para serem utilizados no controle do FMS, um desses trabalhos é descrito em Pires et al. (2003) onde é utilizada lógica nebulosa para controle de buffer de entrada de máquina. O sistema faz uma ponderação, usando lógica nebulosa, entre as variáveis: tempo de processamento local, tempo de processamento restante e data devida. Esta ponderação serve para determinar a prioridade na utilização da máquina pela peça que está aguardando processamento no buffer de entrada da máquina, Para provar o bom funcionamento do trabalho proposto foi utilizada a simulação de um modelo de um FMS que está sendo fisicamente implementado e que é denominado “Fábrica Inteligente UFSCar”.

Outro trabalho realizado (Benincasa et al., 2003) (Benincasa, 2004), faz uso da lógica nebulosa para despacho de AGV em FMS. Neste trabalho sempre que o AGV fica disponível é verificado, para cada produto que está solicitando o AGV, qual é a sua prioridade. A prioridade do produto é calculada através de uma ponderação, que utiliza lógica nebulosa, entre:

- A distância que o AGV está do produto.
- A quantidade de nós por onde o AGV deve passar até que ele chegue ao produto.
- O espaço em *buffer* disponível na máquina onde o produto está.

Depois de obtida a prioridade o AGV atende o produto de maior prioridade. Os autores desse trabalho consideram que o trabalho pode ser usado na tarefa de seleção de veículos obtendo resultados melhores que outras regras como por exemplo FIFO e que as variáveis são satisfatórias para a resolução do problema.

Outros trabalhos realizados no LIAA envolvem o planejamento e o controle da produção. O estudo que foi realizado em Carvalho et al. (2002) analisa similaridade de

cenários utilizando inferência nebulosa. Os cenários simulados são classificados em grupos de acordo com o resultado da simulação. O usuário pode analisar apenas o resultado do grupo para tomar a decisão sobre em qual grupo de cenário está o mais apropriado para ser utilizado no momento e então dentro desse grupo escolher um cenário.

Dentre os trabalhos que envolvem o planejamento e controle da produção está um trabalho publicado em Politano et al. (2001), onde é mostrado o uso da lógica nebulosa para melhoramento do desempenho de uma Linha de Transferência Flexível (Flexible Manufacturing Transfer Line - FMTL) através da escolha de cenários utilizando-se Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) baseada em lógica nebulosa. Neste trabalho é utilizado conhecimento de especialista humano no processo de seqüenciamento da produção, codificado em forma de regras e armazenados numa base de conhecimento. Estas regras podem ser combinadas numa base de regras de produção, com cada regra contribuindo parcialmente para a conclusão, isto é, dando o grau de prioridade que cada tarefa requer.

Os autores baseiam-se em duas variáveis principais em sua proposta:

- O tempo de processamento da tarefa – é o tempo que a máquina leva para completar a tarefa que lhe é destinada.
- Data devida - o valor dessa variável é definida pela diferença entre a data prevista de entrega e a data da liberação do produto.

A decisão de qual pedido será entregue para a FMTL será tomada com base no valor da prioridade gerada pelo SAD, que irá ser utilizada no conjunto de regras de produção com as variáveis de decisão descritas anteriormente.

Também em um trabalho realizado no LIAA (Carvalho, 2003) é proposto um Modelo de Seqüenciamento da Produção para um Sistema de Apoio à Decisão para Seqüenciamento da Produção (SADSP) que serve para selecionar cenários, com o objetivo de diminuir a quantidade de cenários a serem simulados, diminuindo assim o tempo de simulação, que dependendo da quantidade de cenários pode levar dias. Foi criado um sistema especialista baseado neste modelo que interroga o usuário sobre as novas configurações do FMS até que o sistema consiga selecionar uma quantidade de cenários que possa ser simulada no tempo

disponível. O tempo disponível para simulação é informado pelo próprio usuário, que escolhe o tempo de acordo com a urgência necessária para o novo seqüenciamento.

O estudo proposto em Carvalho (2003) está inserido no contexto de um projeto mais amplo chamado SPPS (Sistema de Planejamento da Produção Baseado em Simulação) (Kato et al., 2000), que foi expandido em Maia et al. (2002a), Maia et al. (2002b), Desco et al. (2002) e Maia et al. (2003), onde o sistema que utiliza o modelo proposto informa ao SPPS quais cenários devem ser simulados. O SPPS foi criado para tentar resolver o problema de re-sequenciamento da produção quando ele necessita ser feito em um curto espaço de tempo.

O sistema proposto nessa dissertação se enquadra no contexto desse trabalho. A integração do SADSP, SPPS e do ACS (Avaliador de Cenários Simulados) pode ser realizada da seguinte maneira.

Dada uma ocorrência no FMS onde seja necessário o re-sequenciamento da produção o usuário faz uso do SADSP para determinar quais cenários devem ser simulados.

Tendo em mãos quais cenários devem ser simulados o usuário configura o SPPS para simular tais cenários e o SPPS retorna os relatórios de simulação.

Com os relatórios de simulação o usuário faz uso do ACS para escolher um cenário dentre os simulados e configurar no FMS o novo seqüenciamento.

Em trabalhos futuros pretende-se integrar os programas do SADSP, do SPPS e do ACS conforme apresentado na Figura 4.2.

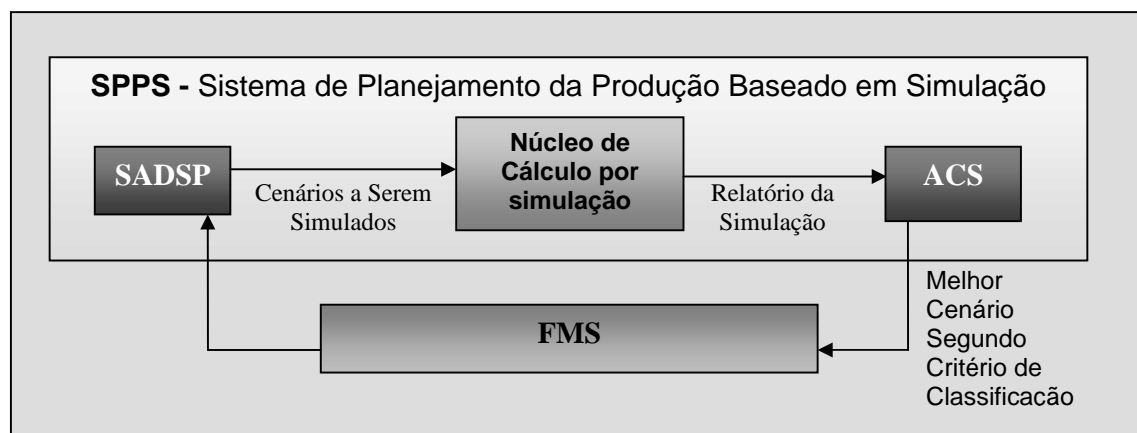


Figura 4.2 - Enquadramento do ACS no Sistema de Planejamento da Produção SPPS

Capítulo 5 - O Avaliador de Cenários Simulados Nebuloso

A proposta desse trabalho é a elaboração de Avaliador de Cenários Simulados para Re-seqüenciamento da Produção em FMS usando Lógica Nebulosa (ACS), para permitir a escolha um cenário avaliando 3 medidas de desempenho.

A definição do que caracteriza um cenário depende do que se deseja obter com a simulação. Neste trabalho, cenário é definido como o conjunto de dados que será objeto de inferência. O cenário que será avaliado é caracterizado pela seqüência de produção (seqüenciamento), quanto produzir, que máquinas estão funcionando, que matérias-primas estão disponíveis e qual o prazo de entrega de cada produto. Apesar deste trabalho tratar apenas do seqüenciamento da produção os outros dados são inseridos no cenário para que seja possível configurar diversos eventos sem a necessidade da mudança do modelo.

O sistema poderá servir como um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) ou como um Sistema de Tomada de Decisão (STD). O ACS irá analisar os cenários simulados de acordo com regras baseadas nos objetivos de uma produção específica, dar-lhes uma nota e ordenar a planilha de resultados de acordo com esta nota obtida. Tendo esta planilha de resultados em mãos o ACS pode se usado como:

- Um SAD: O gerente da produção irá escolher um dentre os cenários que obtiveram as melhores notas, de acordo com outros critérios quaisquer.
- Um STD: O ACS irá eleger um dentre os cenários simulados como o melhor cenário a ser estabelecido. Nesse caso o ACS pode ser modificado para que configure as alterações diretamente no chão de fábrica fazendo uso de uma interface com o Controlador Lógico Programável (CLP) da fábrica ou com o Sistema de Supervisão.

5.1. Definição do Ambiente

Para que se pudesse criar o ACS foi proposto uma ambiente onde se definiu a forma que o FMS irá trabalhar e os objetivos da manufatura.

A hierarquia de objetivos da produção foi elaborada com base nos objetivos da produção de Slack et al. (1999), apresentados no tópico 2.1. dessa dissertação, e para o sistema proposto é a seguinte:

O principal objetivo dessa produção é a flexibilidade. Se deseja que seja possível alterar a quantidade do que se está produzindo a qualquer momento, por causa desse objetivo se utiliza FMS para produzir estes produtos, mesmo que isso possa levar ao custo maior.

O segundo objetivo é a confiabilidade. É dada maior relevância à entrega dentro do prazo determinado do que à entrega rápida. Sendo assim surge uma justificativa para o uso da simulação, ou seja, simulando o sistema produtivo consegue-se ter uma idéia próxima da realidade que será produzida nos próximos dias (ou meses, ou anos), e assim conseguir planejar entregas e cumpri-las de acordo com o que for prometido ao cliente.

O terceiro objetivo é o custo. Sendo um FMS, o que indica um provável aumento de custo, tem-se que considerar uma possível redução de custo com um grau de importância, por que só assim a corporação pode passar a competir em mercados onde existam concorrentes bem estabelecidos e que já tenham um bom volume de vendas que tornou possível a construção de uma produção dedicada (não flexível) com um custo menor.

5.2. O Ambiente Modelado

A fábrica estudada é a especificação da fase 3 da “Fábrica Inteligente UFSCar” mostrada na Figura 5.1 e que possui os seguintes recursos:

- 6 Manipuladores de montagem
- 3 Veículos Autoguiados
- 1 Esteira de Entrada
- 1 Esteira de Saída
- 1 Dispositivo de Carga
- 1 Dispositivo de Descarga

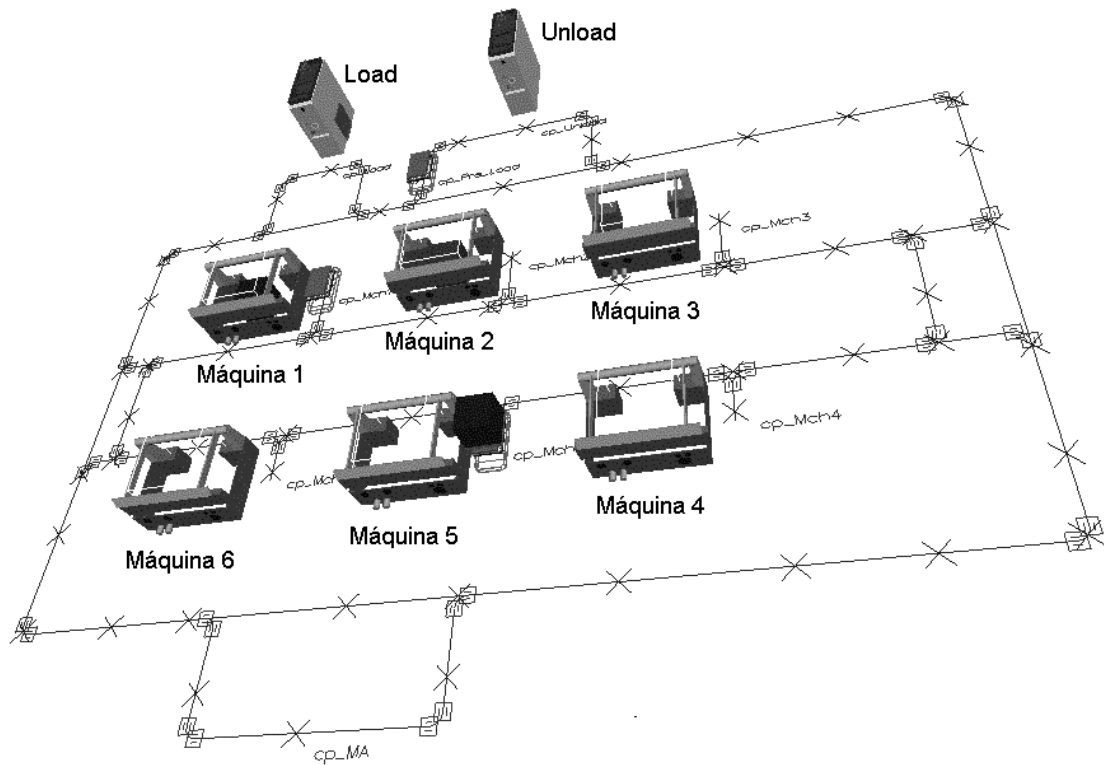
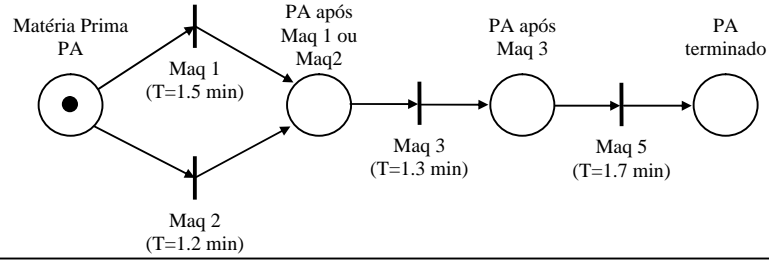


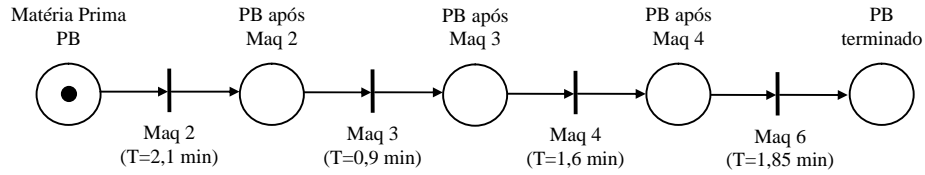
Figura 5.1 – Modelo da fábrica criado no software de simulação e utilizado pelo sistema

Considera-se também que este FMS estará produzindo 5 (cinco) tipos de produtos. Cada produto possui seu próprio roteiro de fabricação. Na Figura 5.2 estão representados os roteiros de fabricação de cada produto utilizando Redes de Petri.

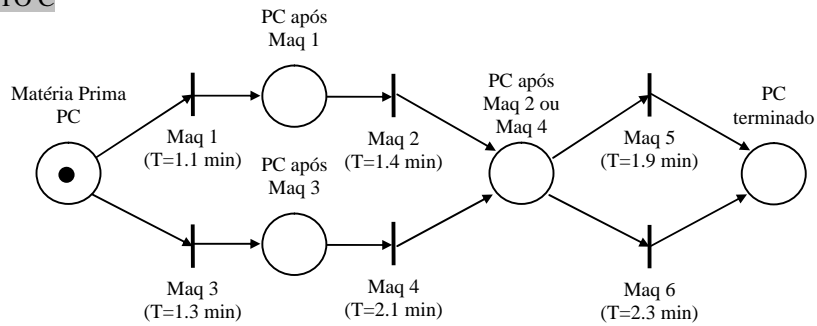
PRODUTO A



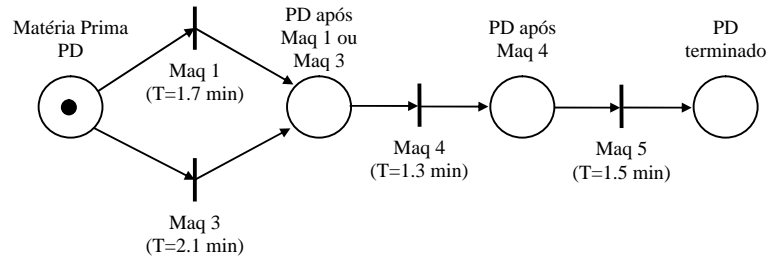
PRODUTO B



PRODUTO C



PRODUTO D



PRODUTO E

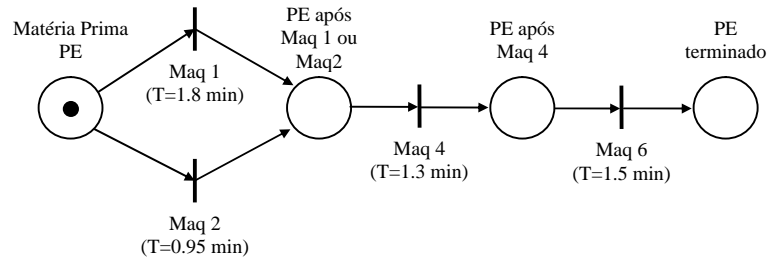


Figura 5.2 – Tempos e Roteiros de Produção dos Produtos (Fernandes et al. 2003)

Para que seja possível a leitura da Figura 5.2 o roteiro de fabricação do Produto A é explicado a seguir.

Na Figura 5.2 o estado do produto A é de matéria prima. O processo de fabricação pode ser iniciado na máquina 1, onde é processado em 1.5 minutos, ou na máquina 2, onde é processado em 1.2 minutos. A segunda tarefa do processo de fabricação é realizada na máquina 3, onde é processado em 1.3 minutos. A última tarefa é realizada na máquina 5, onde é processado em 1.7 minutos. Após sair da máquina 5 o produto A estará terminado.

As Máquinas possuem ainda um tempo de *setup* que é o tempo que a máquina leva para se preparar para produzir o produto. No ambiente considerado o *setup* ocorre quando o processo realizado no produto anterior é diferente do processo que será realizado no produto atual. Nas tabelas dos tempos de *setup* (de Tabela 5.1 a Tabela 5.6) pode-se observar que, em algumas máquinas, existem mudanças de tipos de produtos sem que haja tempo de *setup* isso ocorre porque o processo realizado nesta máquina é igual para os dois tipos de produtos e são usadas as mesmas ferramentas.

Tabela 5.1 – Tempo de *Setup* Máquina 1

Próximo Produto / Produto Anterior	Prod. A	Prod. C	Prod. D	Prod. E
Produto A	0	1.1	1.1	0
Produto C	0.9	0	0	0.9
Produto D	0.9	0	0	0.9
Produto E	0	1.1	1.1	0

Tabela 5.2 – Tempo de *Setup* Máquina 2

Próximo Produto / Produto Anterior	Prod. A	Prod. B	Prod. C	Prod. E
Produto A	0	0.9	1.1	0
Produto B	0.7	0	1.0	0.7
Produto C	0.9	0.7	0	0.9
Produto E	0	0.9	1.1	0

Tabela 5.3 – Tempo de *Setup* Máquina 3

Próximo Produto / Produto Anterior	Prod. A	Prod. B	Prod. C	Prod. D
Produto A	0	0.9	0.6	0
Produto B	0.7	0	0.8	0.7
Produto C	0.5	0.4	0	0.5
Produto D	0	0.9	0.6	0

Tabela 5.4 – Tempo de *Setup* Máquina 4

Próximo Produto / Produto Anterior	Prod. B	Prod. C	Prod. D	Prod. E
Produto B	0	1.1	0.7	0.7
Produto C	0.7	0	0.5	0.5
Produto D	0.9	0.5	0	0
Produto E	0.9	0.5	0	0

Tabela 5.5 – Tempo de *Setup* Máquina 5

Próximo Produto / Produto Anterior	Prod. A	Prod. C	Prod. D
Produto A	0	0.7	1.8
Produto C	0.8	0	0.5
Produto D	1.9	0.5	0

Tabela 5.6 – Tempo de *Setup* Máquina 6

Próximo Produto / Produto Anterior	Prod. B	Prod. C	Prod. E
Produto B	0	0.8	0.7
Produto C	1.7	0	0.9
Produto E	1.8	0.7	0

Como existe a possibilidade de se fabricar mais de um tipo produto ao mesmo tempo o seqüenciamento da produção determinará a prioridade que cada tipo de produto terá no processo produtivo. Ou seja, se o produto do tipo D for o primeiro produto da seqüência e o produto do tipo E o segundo, suas prioridades serão 1 e 2 respectivamente. Assim quando os dois produtos precisarem da máquina 1 para produzir será escolhido o produto de menor prioridade ou seja o produto do tipo D.

5.3. Definindo o Avaliador de Cenários Simulados Nebuloso

Antes de iniciar o desenvolvimento do sistema foram estudadas e avaliadas as possíveis variáveis, regras e funções de pertinência. As avaliações foram realizados usando um aplicativo chamado MatLab para que se pudesse ter a certeza de que os objetivos do sistema seriam atingidos e que o ACS realmente analisaria os dados de acordo com os objetivos da produção. Tendo obtido resultados satisfatórios, que foram publicados em Fernandes et al. (2003) o ACS foi implementado no Microsoft Excel e utilizou-se a tecnologia de interface ActiveX para estabelecer a conexão com o software de simulação, que no caso foi o AutoMod.

5.3.1. Definição das Variáveis do Sistema

Durante a escolha de quais variáveis seriam utilizadas foram verificados alguns trabalhos já realizados na área como Kazerooni et al. (1997), Maia et al. (2002a) e Maia et al. (2002b). Nesses trabalhos se pôde constatar a possibilidade de utilização de diversas variáveis de saída da simulação como entrada para o ACS. Dentre essas variáveis foram escolhidas três, as quais foram consideradas mais relacionadas com os objetivos da produção. Atraso Médio, Desvio Padrão da Utilização de Máquinas e Lucro ao dia.

Atraso Médio

O atraso médio é uma variável que está diretamente ligada ao objetivo de confiabilidade. Sendo assim foi considerado que o atraso médio igual a 0 (zero) tornaria o cenário ideal em relação a esta variável e quanto maior o atraso médio pior é o cenário.

O Atraso Médio é calculada pela média ponderada entre todos os atrasos de entrega sendo eles diferentes de 0 (zero) ou não, conforme Equação (5.1).

$$\text{Atraso Médio} = \Sigma(y_i * x_i) / \Sigma(y_i) \quad (5.1)$$

Onde:

$$y_i = \text{Atraso do Produto } i$$

$$x_i = \text{Quantidade de Produto } i$$

O atraso do produto é calculado “subtraindo” a data de entrega, obtida na simulação, da data devida, informada pelo usuário, se a data de entrega for menor ou igual à data devida o atraso do produto será igual a 0 (zero) conforme Equação (5.2).

$$\begin{aligned} &\text{Se (Data de Entrega}_i > \text{Data Devida}_i) \\ &\text{Então Atraso}_i = \text{Data de Entrega}_i - \text{Data Devida}_i \\ &\text{Se Não Atraso}_i = 0 \end{aligned} \quad (5.2)$$

Na Tabela 5.7 é apresentado um exemplo de calculo da variável Atraso-Médio conforme simulação que determinou prazos baixos para três produtos e alto para dois produtos e obteve como resultado Atraso Médio igual a 0,2462 para uma determinada seqüência de entrada.

Tabela 5.7 – Exemplo de Calculo da variável Atraso Médio.

	Data de Entrega	Data Devida	Atraso	Quantidade	Atraso X Quantidade
Produto A	1,6180	1	0,6180	400	247,227
Produto B	1,4181	3	0,0000	275	000,000
Produto C	1,7104	1	0,7104	200	142,084
Produto D	2,0605	2	0,0605	310	19,392
Produto E	1,0158	2	0,0000	475	00,000
Atraso Médio					0,2462

Lucro ao dia

O lucro ao dia foi aqui considerada uma variável que informa se utilizando um determinado cenário os produtos que geram maior lucro serão produzidos primeiro.

Dependendo do sistema produtivo, do tipo de produto fabricado e do mercado esta variável poderia, ao invés de ser calculada com base no lucro, ser calculada com base no fator de risco do produto e então os lotes com fator de risco menor sendo fabricados primeiro resultariam em um fator de risco total menor.

Esta variável é calculada, conforme apresentado nas equações de (5.3), (5.4) e (5.5), pela média do lucro ao dia de cada tipo de produto. O lucro ao dia de cada tipo de produto é calculado pelo lucro total do tipo de produto dividido pelo tempo (em dias) de produção do lote. O lucro total é o lucro unitário multiplicado pela quantidade produzida.

$$\text{Lucro ao Dia} = \text{Média}(\text{Lucro ao Dia-A}; \text{Lucro ao Dia-B}; \dots; \text{Lucro ao Dia-E}) \quad (5.3)$$

$$\text{Lucro ao Dia-X} = \text{Lucro Total-X} / \text{Tempo de Produção-X} \quad (5.4)$$

$$\text{Lucro Total-X} = \text{Lucro Unitário-X} * \text{Quantidade Produzida-X} \quad (5.5)$$

Desvio Padrão da Utilização de Máquinas

A **utilização de máquinas** é a quantidade de máquinas que estão em uso em um determinado momento. O simulador registra a utilização de máquinas a cada 5 minutos. Tendo esta coleção de dados, após o término da simulação, o sistema calcula o desvio padrão.

Se o desvio padrão da média de utilização de máquinas for grande, indica que em vários momentos temos um grande número de máquinas em uso, e em outros momentos temos um grande número de máquinas paradas.

Quando essa variável apresenta valores reduzidos, indica que há poucas situações onde existe um número grande de máquinas sendo utilizadas e poucas situações com um número pequeno de máquinas sendo utilizadas.

Em sistemas onde cada máquina necessita de um operador, se tivermos um desvio padrão igual a 0 (zero) temos sempre a necessidade de um mesmo número de operadores e se tivermos um desvio padrão alto existirão momentos em que será necessário um grande número de operadores e em outros momentos será necessário um número pequeno de operadores.

O objetivo de utilizar esta variável é tentar reduzir os custos de operação e de supervisão em um FMS ou ainda, onde isso não for possível facilitar o trabalho de supervisão e possivelmente diminuindo o tempo de detecção e correção de falhas pelo operador do sistema de supervisão.

5.3.2. Conjuntos Nebulosos de entrada e Funções de Pertinência

Os conjuntos nebulosos de entrada, assim como suas funções de pertinência, foram definidos inicialmente de acordo com sugestão de especialista. Depois, observando-se os resultados, foram feitos os ajustes até chegar aos conjuntos e funções definitivas.

Atraso Médio

Conforme citado anteriormente (Equações (5.1) e (5.2)) esta variável é calculada utilizando a média dos atrasos de entrega dos tipos de produtos. Os valores foram divididos em 3 conjuntos, a citar: Ideal, Atrasado e Muito Atrasado (Conforme Figura 5.3).

O Conjunto IDEAL representa o atraso próximo de 0 dias, o que seria o melhor valor para esta variável e quando esta variável extrapola o valor de 0,75 dias, o valor deixa completamente de ser ideal.

O Conjunto ATRASADO representa um atraso aceitável, ou seja, não seria tão prejudicial aos relacionamentos da empresa.

O Conjunto MUITO ATRASADO representa um atraso maior do que o aceitável para as pretensões da empresa. Considerando que está sendo simulada uma semana útil (de segunda-feira à sexta-feira), ou seja 5 dias, um atraso de 1,5 dias prejudicaria em muito a relação de confiança com os clientes.

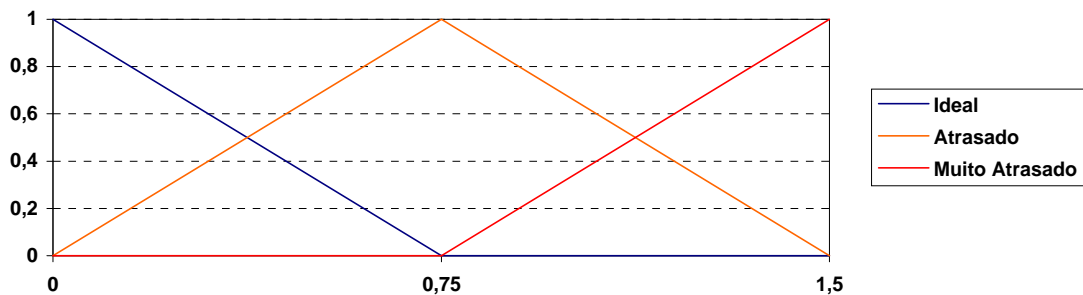


Figura 5.3 – Gráfico dos Conjuntos Nebulosos da variável Atraso Médio.

Lucro ao Dia

Os conjuntos e as funções de pertinência da variável Lucro ao Dia também foi definida por observação dos valores resultantes, e varia de \$ 9.000,00 a \$ 18.000,00. Além de observar o Maior e o Menor valor para definir os conjuntos, ainda observou-se a mediana, e na maioria dos ensaios foram obtidos valores próximos a \$ 13.000,00. Sendo assim os conjuntos e funções de pertinência ficaram conforme apresentado na Figura 5.4

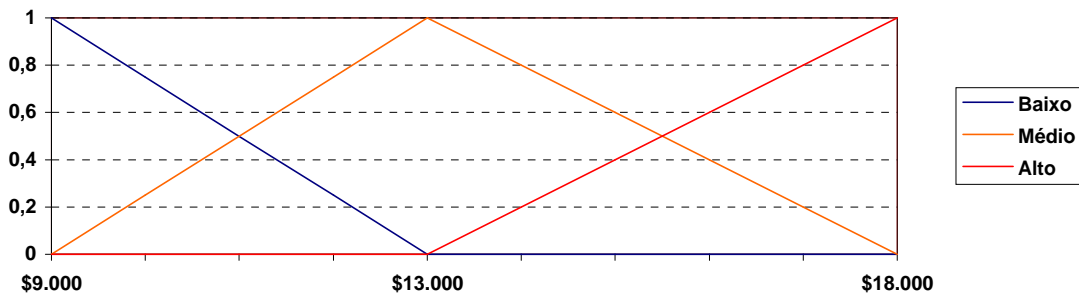


Figura 5.4 – Gráfico dos Conjuntos Nebulosos da variável Lucro ao Dia.

Desvio Padrão da Utilização de Máquinas

Para se definir os conjuntos nebulosos e as funções de pertinência do desvio padrão da utilização de máquinas observou-se o comportamento da mesma, e concluiu-se que os valores variam de 0,60 a 0,85 e estes valores foram usados como base para as funções de pertinência.

O conjunto DISPERSO representa que a utilização das máquinas está bem distribuída ao longo do tempo. O conjunto MÉDIO representa um intermediário entre o conjunto DISPERSO e o conjunto CONCENTRADO. O conjunto CONCENTRADO representa que a utilização das máquinas está concentrada em alguns momentos.

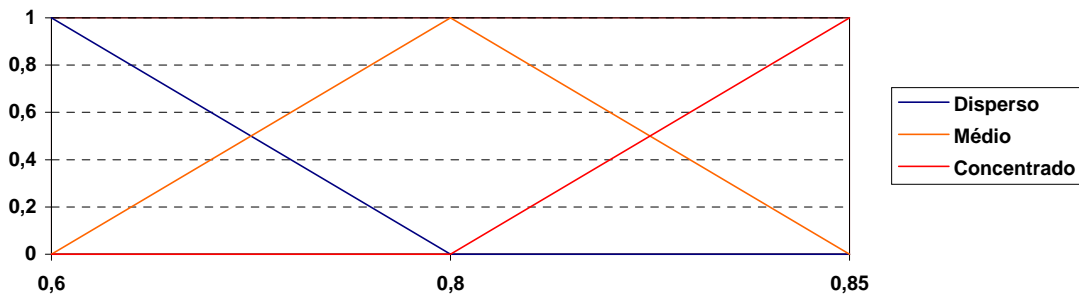


Figura 5.5 – Gráfico dos Conjuntos Nebulosos da variável Desvio Padrão da Utilização de Máquinas.

5.3.3. Método de Conversão Nebuloso Escalar

Foi escolhido para este trabalho o método de conversão conhecido como Mamdani (Rezende, 2003). Com o uso deste método foi possível calcular a pertinência aos conjuntos de saída bem como definir suas funções. Em um estudo preliminar também foi usado o método Takagi-Sugeno-Kang e que se obteve resultado semelhante e igualmente satisfatório.

5.3.4. Conjuntos Nebulosos de Saída e Funções de Pertinência

Foi escolhida como variável de saída para avaliação dos cenários um conceito ou nota que varia de 0 a 10. Foi considerado para essa variável, conforme representado no gráfico da

Figura 5.6, 11 conjuntos, onde o cenário pode ser classificado de acordo com os conceitos de A à K.

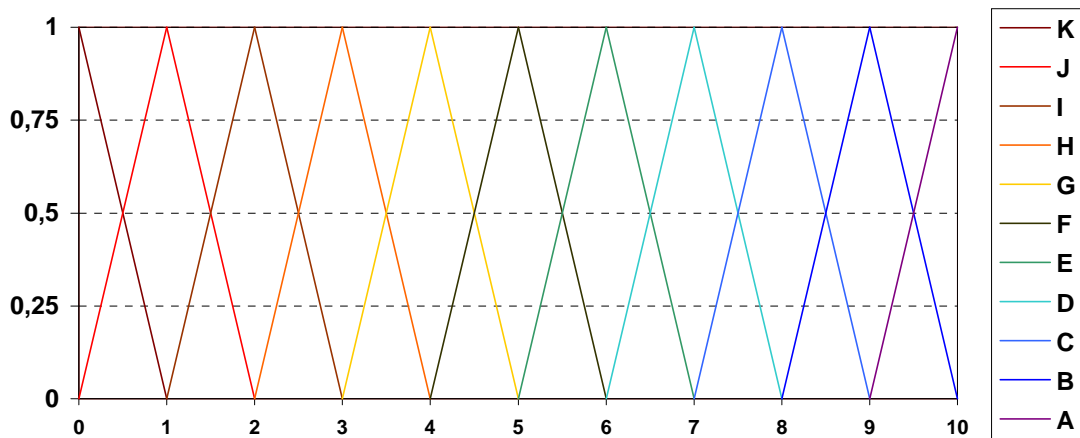


Figura 5.6 – Gráfico dos Conjuntos Nebulosos da variável de Saída (Nota).

5.3.5. Definição das regras

A tabela de regras é fundamental para adequar o sistema aos objetivos da produção. Outras variáveis podem ser consideradas como variáveis de entrada para que o sistema pondere outros objetivos da produção, mas a definição das regras é que pondera a hierarquia de objetivos da produção.

Para a obtenção das regras, foi considerado o fato de que o “Atraso Médio” é a variável que influi no objetivo que ocupa posição mais alta na hierarquia de objetivos da empresa. Portanto, foi tomada esta como a variável mais importante para determinar o conceito atribuído para o cenário.

A segunda variável mais importante ao serem determinadas as regras foi Lucro ao Dia.

Partindo destas premissas chegou-se as regras apresentadas na Tabela 5.7.

Tabela 5.8 – Tabela de Regras.

	SE	E	E	Então
	Atraso Médio	Lucro ao dia	Desvio Padrão da Utilização de Máquinas	Avaliação
a	Ideal	Alto	Concentrado	A
b	Ideal	Alto	Médio	B
c	Ideal	Alto	Disperso	C
d	Ideal	Médio	Concentrado	C
e	Ideal	Médio	Médio	D
f	Ideal	Médio	Disperso	E
g	Ideal	Baixo	Concentrado	D
h	Ideal	Baixo	Médio	E
i	Ideal	Baixo	Disperso	F
j	Atrasado	Alto	Concentrado	D
k	Atrasado	Alto	Médio	E
l	Atrasado	Alto	Disperso	F
m	Atrasado	Médio	Concentrado	F
n	Atrasado	Médio	Médio	G
o	Atrasado	Médio	Disperso	H
p	Atrasado	Baixo	Concentrado	G
q	Atrasado	Baixo	Médio	H
r	Atrasado	Baixo	Disperso	I
s	Muito Atrasado	Alto	Concentrado	G
t	Muito Atrasado	Alto	Médio	H
u	Muito Atrasado	Alto	Disperso	I
v	Muito Atrasado	Médio	Concentrado	H
w	Muito Atrasado	Médio	Médio	I
x	Muito Atrasado	Médio	Disperso	J
y	Muito Atrasado	Baixo	Concentrado	I
z	Muito Atrasado	Baixo	Médio	J
aa	Muito Atrasado	Baixo	Disperso	K

5.4. Elaboração e Funcionamento do ACS

O sistema foi desenvolvido usando o módulo do Microsoft Visual Basic que está disponível no Microsoft Excel, e o simulador usado foi o AutoMod. Para interface entre o Microsoft Excel e o AutoMod foi utilizada a tecnologia ActiveX disponível nos dois aplicativos.

O funcionamento do sistema pode ser dividido em 11 etapas que são:

1ª Etapa – O usuário dá entrada nos dados da interface e inicia simulações

A interface do ACS com o usuário é a planilha, mostrada na Figura 5.7, do Microsoft Excel 2000 onde é possível configurar:

- Nome do modelo: nome dado ao modelo de simulação criado no AutoMod.
- Caminho: caminho completo dos arquivos do modelo no sistema de arquivos do Windows.
- Máquinas (Máquina1, Máquina2, ..., Máquina6): onde são selecionadas as máquinas que estão em condições de produzir.
- Matéria Prima (Produto A, Produto B, ..., Produto E): onde são selecionados os tipos de produtos têm matéria-prima disponível.
- Quantidade de Produtos – Produzir (Produto A, Produto B, ..., Produto E): representa o quanto terá que ser produzido de cada tipo de produto.
- Prazo (dias) (Produto A, Produto B, ..., Produto E): onde são configurados os prazos de entrega de cada tipo de produto.
- Lucro (\$) (Produto A, Produto B, ..., Produto E): onde são configurados os lucros unitários de cada tipo de produto.

Esta mesma interface possui três botões de navegação: um botão que dá início ao processo de simulação e análise dos cenários, um botão para ver os resultados da simulação e um botão para ver o resultado da análise dos cenários.

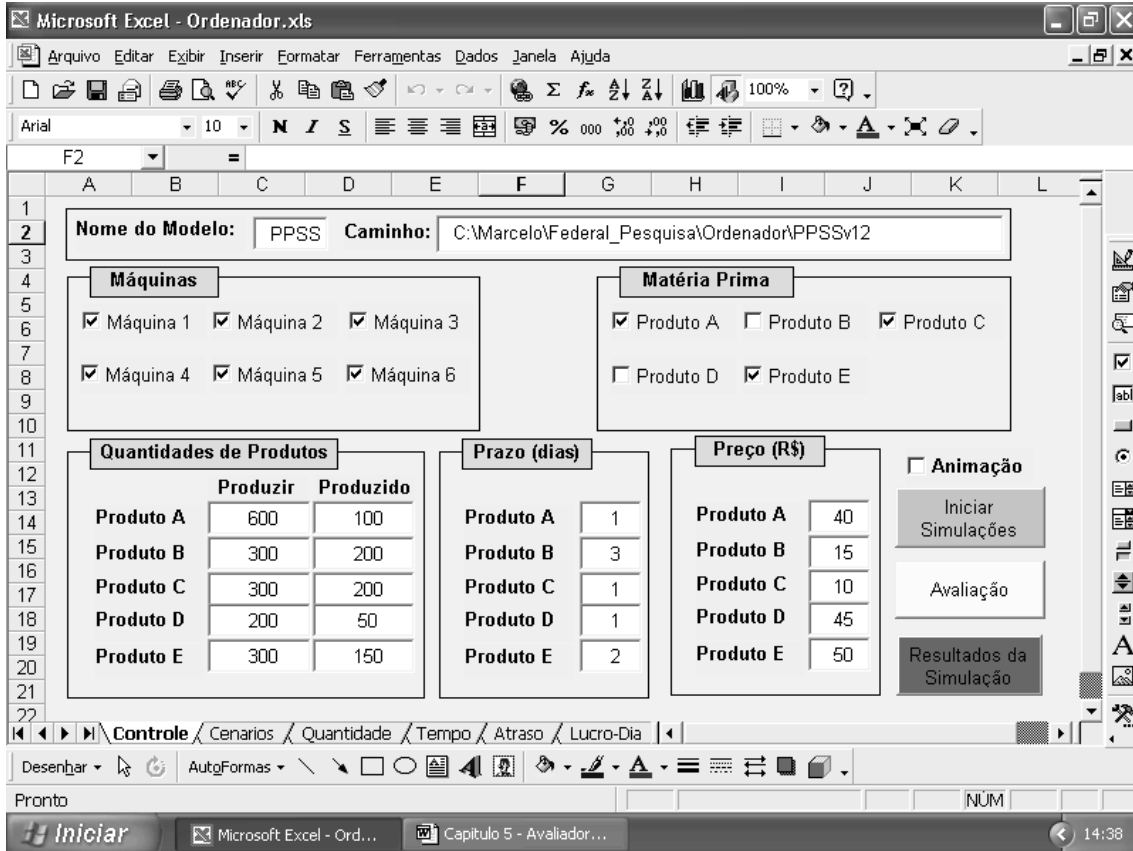


Figura 5.7 – Planilha de Controle e Interface do ACS

2ª Etapa – Limpa os dados da Simulação Anterior

Quando o botão “Iniciar Simulação” for acionado o sistema apaga os dados da simulação anterior

3ª Etapa – Gera todas as possíveis seqüências

Gera todas as possíveis seqüências de acordo com o que foi configurado na planilha que serve de interface. Essas seqüências são gravadas em uma planilha chamada “Cenários” (Figura 5.8).

	A	B	C	D	E
1	5	4	1	2	3
2	5	4	1	3	2
3	5	4	2	1	3
4	5	4	2	3	1
5	5	4	3	1	2
6	5	4	3	2	1
7					

Figura 5.8 – Exemplo de Planilha de Seqüências usadas nos Cenários

Na planilha “Cenários” são gravadas as prioridades de cada tipo de produto. Por exemplo:

Na coluna A linha 1 está a prioridade do produto A para o primeiro cenário.
 Na coluna B linha 1 está a prioridade do produto B para o primeiro cenário.
 E assim por diante para as demais colunas e linhas

4ª Etapa – Abre e Configura o Modelo de Simulação

Na primeira vez que é realizada esta etapa o modelo de simulação é iniciado para simular o primeiro cenário, na segunda vez para simular o segundo cenário e assim por diante.

Nessa etapa o ACS abre o modelo de simulação no AutoMod, configura no modelo de simulação o seqüenciamento e os dados que estão configurados na interface e inicia a simulação.

5ª Etapa – Simulação do Modelo

Esta etapa é realizada pelo simulador (AutoMod) que tendo os dados já configurados pela etapa anterior simula o processo produtivo até que sejam produzidos todos os produtos. Durante a simulação o AutoMod gera um arquivo chamado contador.xls onde ele grava de cinco em cinco minutos a quantidade de máquinas que estão em uso. Ao término da simulação o simulador informa ao ACS que a simulação foi terminada.

6ª Etapa – Importa os dados e fecha o Modelo de Simulação

Quando o ACS recebe a informação de que a simulação foi terminada, ele importa do modelo simulado os dados que serão necessários para a avaliação e os grava nas planilhas:

- Quantidade (Figura 5.9): Na coluna A a quantidade total de produto do tipo A produzida, na coluna B a quantidade total de produto do tipo B produzida e assim por diante. Sendo que a quantidade total produzida também inclui o que havia sido configurado como já produzido na interface.

	A	B	C	D	E
1	0	0	200	310	475
2	0	0	200	310	475
3	0	0	200	310	475
4	0	0	200	310	475
5	0	0	200	310	475
6	0	0	200	310	475
7					

Figura 5.9 – Exemplo da Planilha Quantidade

- Tempo (Figura 5.10): Na coluna A o tempo gasto para produzir os lote de produto A, na coluna B o tempo gasto para produzir os lote de produto B e assim por diante. Sendo que o tempo gasto para produzir um dado tipo de produto começa a ser contado quando é iniciada a simulação e termina no instante em que se termina de produzir o último produto desse tipo.

	A	B	C	D	E
1	0	0	0,461876	1,108126	1,136805
2	0	0	0,46175	1,200636	0,848379
3	0	0	1,092128	0,632849	1,118691
4	0	0	0,798069	1,149999	0,508967
5	0	0	1,066877	0,632888	0,778907
6	0	0	1,149632	0,860916	0,508853
7					

Figura 5.10 – Exemplo da Planilha Tempo

Realiza os cálculos e grava-os nas planilhas:

- Atraso (Figura 5.11): Na coluna A o atraso na entrega dos lote de produto A, na coluna B o atraso na entrega dos lote de produto B e assim por diante. conforme já apresentado no tópico 5.3.1. na Equação (5.2).

	A	B	C	D	E
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0,092128	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0,066877	0	0
6	0	0	0,149632	0	0
7					

Figura 5.11 – Exemplo da Planilha Atraso

- Atraso (2) (Figura 5.12): Na coluna A é multiplicado o atraso do produto A pela quantidade produzida do produto para que seja possível realizar o cálculo conforme apresentado no tópico 5.3.1. na Equação (5.1).

	A	B	C	D	E
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	18,42553	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	13,37539	0	0
6	0	0	29,92631	0	0
7					

Figura 5.12 – Exemplo da Planilha Atraso (2)

- Lucro ao Dia (Figura 5.13): Na coluna A o lucro ao dia obtido com a entrega dos lote de produto A, na coluna B o lucro ao dia obtido com a entrega dos lote de produto B. Sendo que o cálculo consiste em dividir o Lucro Total do tipo de produto pelo Tempo do mesmo tipo de produto, conforme já demonstrado no tópico 5.3.1. nas equações (5.3), (5.4) e (5.5).

	A	B	C	D	E
1	R\$ -	R\$ -	R\$ 10.825,42	R\$ 13.987,58	R\$ 18.802,70
2	R\$ -	R\$ -	R\$ 10.828,37	R\$ 12.909,83	R\$ 25.195,11
3	R\$ -	R\$ -	R\$ 4.578,22	R\$ 24.492,43	R\$ 19.107,15
4	R\$ -	R\$ -	R\$ 6.265,12	R\$ 13.478,27	R\$ 41.996,81
5	R\$ -	R\$ -	R\$ 4.686,58	R\$ 24.490,89	R\$ 27.442,29
6	R\$ -	R\$ -	R\$ 4.349,22	R\$ 18.004,07	R\$ 42.006,20

Figura 5.13 – Exemplo da Planilha Lucro-Dia

Após obter todos os dados necessários para a análise do cenário, o ACS fecha o modelo de simulação

7ª Etapa – Gera resultados da simulação

Nessa etapa são gerados os dados que serão utilizados para a avaliação do cenário, o ACS grava em uma planilha, chamada “**Resultados-Simulação**” (Figura 5.14), os valores finais das variáveis que serão usadas na avaliação do cenário. O Atraso Médio é calculado conforme já apresentado no tópico 5.3.1. através da Equação (5.1) e o Lucro ao Dia através da Equação (5.3). O Desvio Padrão da Utilização de Máquinas é calculado de acordo com os dados gerados pelo simulador e que são gravados em um arquivo chamado “**Contador.xls**”. O arquivo “Contador.xls” contém um vetor de números que representa a quantidade de máquinas em atividade a cada 5 minutos. O ACS inicia uma leitura do fim para o início até descobrir qual foi o último instante em que foi utilizada alguma máquina. Sabendo qual foi o último instante em que foi utilizada alguma máquina o ACS realiza o calculo do desvio padrão usando o vetor do início até esse ponto.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Atraso Médio	Lucro ao Dia	Desvio Padrão da Utilização de Máquinas	Cenário	Ir para Tela Inicial	Avaliação	
2	0	R\$ 8.723,14	0,616468252	3			
3	0	R\$ 9.786,66	0,603108864	1			
4	0,018706117	R\$ 9.635,56	0,746069458	2			
5	0	R\$ 12.348,04	0,598900938	5			
6	0,013579075	R\$ 11.323,95	0,715703611	6			
7	0,030382045	R\$ 12.871,90	0,60575447	4			

Figura 5.14 – Exemplo da Planilha Resultados da Simulação

Após gerar os resultados da simulação do cenário se este não for o último cenário inicia-se a **4ª etapa** para próximo cenário. Se este for o último cenário o ACS passa para **8ª etapa**.

8ª Etapa – Conversão Escalar-Nebuloso

Esta etapa da início ao que é chamado no capítulo **Erro! A origem da referência não foi encontrada**.de sistema nebuloso.

Na primeira vez que esta etapa é realiza é feita a análise do primeiro cenário.

Em uma planilha chamada “**Conjuntos-Entrada**” estão definidos os pontos das funções de pertinência (triangulares) dos conjuntos de entrada (Figura 5.15). A planilha “Conjuntos-Entrada” e a planilha “Resultados-Simulação” são usadas para gerar uma planilha chamada “**Pertinência**” (Figura 5.16) que contém a pertinência de cada variável a cada conjunto de entrada. Este processo é o processo chamado na figura Figura 3.11 de conversão escalar-nebuloso.

Atraso Médio			
Pertinênc	0	1	0
Conjunto			
Ideal	0	0	0,75
Atrasado	0	0,75	1,5
Muito Atrasado	0,75	1,5	1,5

Dispersão da média de Utilização de Máquinas			
Pertinênc	0	1	0
Conjunto			
Concentrado	0,6	0,6	0,8
Medio	0,6	0,8	0,85
Disperso	0,8	0,85	0,85

Lucro ao Dia			
Pertinênc	0	1	0
Conjunto			
Baixo	9000	9000	13000
Medio	9000	13000	18000
Alto	13000	18000	18000

Figura 5.15 – Planilha dos Conjuntos de Entrada

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Atraso Médio			Lucro ao Dia			Desvio Padrão da Utilização de Máquinas		
2	Ideal	Atrasado	Muito Atrasado	Alto	Medio	Baixo	Concentrado	Medio	Disperso
3	1	0	0	0	0	1	0,91765874	0,08234126	0
4	1	0	0	0	0,19666528	0,80333473	0,98445568	0,01554432	0
5	0,97505851	0,02494149	0	0	0,15888963	0,84111038	0,26965271	0,73034729	0
6	1	0	0	0	0,8370102	0,1629898	1	0	0
7	0,98189457	0,01810543	0	0	0,58098768	0,41901233	0,42148195	0,57851805	0
8	0,95949061	0,04050939	0	0	0,96797495	0,03202505	0,97122765	0,02877235	0

Figura 5.16 – Exemplo da Planilha Pertinência

9ª Etapa – Inferência

Nas planilhas “Regras” (Figura 5.17) e “Pertinência-Saída” (Figura 5.18) é realizado o processo chamado de **inferência**, usando o método Mamdani para determinar a pertinência do cenário a cada um dos conjuntos de saída.

A primeira planilha, chamada de “Regras”, é usada uma função do Microsoft Excel chamada “mínimo” para formular todas as possíveis regras, sendo que a coluna A é referente a regra A da Tabela 3.1 (página 24), a coluna B referente a regra B e assim por diante.

A segunda planilha, chamada de “Pertinência-Saída”, é usada uma função chamada “máximo” para juntar todas as regras de cada conjunto da variável de saída, sendo que na coluna A está a pertinência ao conjunto A da variável de saída, na coluna B está a pertinência ao conjunto B e assim por diante.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	
1	Regras (Minimo)																											
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,20	0,02	0,00	0,80	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,16	0,16	0,00	0,27	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,84	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,42	0,58	0,00	0,42	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,96	0,03	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 5.17 – Exemplo da Planilha Regras

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,91765874	0,08234126	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000
2	0,00000000	0,00000000	0,19666528	0,80333473	0,01554432	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000
3	0,00000000	0,00000000	0,15888963	0,26965271	0,73034729	0,02494149	0,02494149	0,02494149	0,00000000	0,00000000	0,00000000
4	0,00000000	0,00000000	0,83701020	0,16298980	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000
5	0,00000000	0,00000000	0,42148195	0,57851805	0,41901233	0,01810543	0,01810543	0,01810543	0,00000000	0,00000000	0,00000000
6	0,00000000	0,00000000	0,95949061	0,03202505	0,02877235	0,04050939	0,03202505	0,02877235	0,00000000	0,00000000	0,00000000

Figura 5.18 – Parte de um Exemplo da Planilha Pertinência-Saída

10ª Etapa – Conversão Nebuloso-Escalar

Para realizar a conversão nebuloso-escalar são utilizadas, além da planilha “Pertinência-Saída”, mais seis planilhas:

- A primeira é chamada de “**Conjuntos-Saída**” (Figura 5.19) e é onde estão definidos os pontos das funções de pertinência (triangulares) dos conjuntos de saída.

Atraso Médio			
Pertinência	0	1	0
Conjunto			
A	9	10	10
B	8	9	10
C	7	8	9
D	6	7	8
E	5	6	7
F	4	5	6
G	3	4	5
H	2	3	4
I	1	2	3
J	0	1	2
K	0	0	1

Figura 5.19 – Planilha dos Conjuntos de Saída

- A segunda é chamada de “**Pontos**” (Figura 5.20) e contém os pontos de cada polígono formados nos conjuntos de saída, para tanto ela faz uso da planilha “Conjuntos-Saída”.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Pontos Conjunto A				Pontos Conjunto B				Pontos Conjunto C				Pontos Conjunto D				Pontos Conjunto E				Pr
2	9	9	10	10	8	8	10	10	7	7	9	9	6	6,92	7,08	8	5	5,08	6,92	7	4
3	9	9	10	10	8	8	10	10	7	7,2	8,8	9	6	6,8	7,2	8	5	5,02	6,98	7	4
4	9	9	10	10	8	8	10	10	7	7,16	8,84	9	6	6,27	7,73	8	5	5,73	6,27	7	4
5	9	9	10	10	8	8	10	10	7	7,84	8,16	9	6	6,16	7,84	8	5	5	7	7	4
6	9	9	10	10	8	8	10	10	7	7,42	8,58	9	6	6,58	7,42	8	5	5,42	6,58	7	4
7	9	9	10	10	8	8	10	10	7	7,96	8,04	9	6	6,03	7,97	8	5	5,03	6,97	7	4
8																					
9																					

Figura 5.20 – Parte de um Exemplo da Planilha Pontos

- A planilha “Pontos” e a planilha “Regras” são usadas para calcular a terceira planilha, chamada de “**Massa**” (Figura 5.21), e que contém a massa de cada polígono definido na planilha “Pontos”.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Subconjuntos A			Subconjuntos B			Subconjuntos C			Subconjuntos D			Subconjuntos E			Subconjuntos F			Subconjuntos G		
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,42	0,15	0,42	0	0,15	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0,02	0,32	0,02	0,32	0,32	0,32	0	0,03	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0,01	0,27	0,01	0,04	0,39	0,04	0,27	0,39	0,27	0	0,05	0	0	0,05	0
5	0	0	0	0	0	0	0,35	0,27	0,35	0,01	0,27	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0,09	0,49	0,09	0,17	0,49	0,17	0,09	0,49	0,09	0	0,04	0	0	0,04	0
7	0	0	0	0	0	0	0,46	0,08	0,46	0	0,06	0	0	0,06	0	0	0,08	0	0	0,06	0

Figura 5.21 – Parte de um Exemplo da Planilha Massa

- A Planilha “Pontos” também é usada para gerar a planilha “**Centro-Massa**” (Figura 5.22) que contém o valor da projeção na ortogonal do centro de massa de cada polígono definido na planilha “Pontos”.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Subconjuntos A			Subconjuntos B			Subconjuntos C			Subconjuntos D			Subconjuntos E			Σ
2	9	9,5	10	8	9	10	7	8	9	6,6118	7	7,3882	5,0549	6	6,9451	
3	9	9,5	10	8	9	10	7,1311	8	8,8689	6,5356	7	7,4644	5,0104	6	6,9896	
4	9	9,5	10	8	9	10	7,1059	8	8,8941	6,1798	7	7,8202	5,4869	6	6,5131	4,011
5	9	9,5	10	8	9	10	7,558	8	8,442	6,1087	7	7,8913	5	6	7	
6	9	9,5	10	8	9	10	7,281	8	8,719	6,3857	7	7,6143	5,2793	6	6,7207	4,01
7	9	9,5	10	8	9	10	7,6397	8	8,3603	6,0214	7	7,9786	5,0192	6	6,9808	4,0

Figura 5.22 – Parte de um Exemplo da Planilha Centro-Massa

- A quinta planilha é usada apenas para multiplicar a massa pelo centro de massa, valor esse que será usado para calcular o centro de massa de todos os polígonos. Essa planilha é chamada de “**Centro-MassaXMassa**” (Figura 5.23).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Subconjuntos A			Subconjuntos B			Subconjunto C			Subconjuntos D			Subconjuntos E			Σ
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,7839	1,0579	3,1108	0,0171	0,9067	0,0235	
3	0	0	0	0	0	0	0,1379	2,5278	0,1715	2,1086	2,2118	2,4086	0,0006	0,1836	0,0008	
4	0	0	0	0	0	0	0,0897	2,1383	0,1123	0,2247	2,7572	0,2843	1,4634	2,3633	1,7371	0,00
5	0	0	0	0	0	0	2,6475	2,1826	2,9572	0,0811	1,9099	0,1048	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0,6467	3,9014	0,7745	1,0686	3,4137	1,2742	0,4635	2,9213	0,59	0,00
7	0	0	0	0	0	0	3,5166	0,6219	3,8484	0,0031	0,434	0,0041	0,0021	0,3353	0,0029	0,00

Figura 5.23 – Parte de um Exemplo da Planilha Centro-MassaXMassa

- A última planilha contém a “Nota” de cada cenário que é obtida pela equação geral demonstrada (5.15), **finalizando a análise do cenário**. Nessa planilha também é copiada a seqüência de entrada dos produtos determinada por cada cenário. E também contém botões de navegação pelos quais é possível ir para as planilhas: “Controle”, “Resultados-Simulação”, “Conjuntos-Entrada” e “Conjuntos-Saída”.

$$\text{Centro de massa} = \frac{\sum(y_i * x_i)}{\sum(y_i)} \quad (5.6)$$

Onde:

y_i = Massa de cada polígono

x_i = Centro de Massa de cada polígono

Ao término da análise do cenário se este não for o último cenário inicia-se a **8ª etapa** para próximo cenário. Se este for o último cenário o ACS passa para **11ª etapa**.

11ª Etapa – Ordena por Notas os Cenários e exibe a planilha de notas

Após o término da análise do ultimo cenário o ACS ordena as planilhas das “Notas”, em ordem decrescente, e apresenta a Planilha “Notas” (Figura 5.24) como resultado da avaliação.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	N	O	P	Q
1		Atraso	Lucro	Disp	Sequenciamento					Avaliação					
3	4	0	R\$ 12.348,04	0,599	E	C	D	B	A	7,764768561	Ir para Tela Inicial	Conjuntos de Entrada	Conjuntos de Saida		
4	6	0,03	R\$ 12.871,90	0,606	E	D	C	B	A	7,278575963					
5	2	0	R\$ 9.786,66	0,603	C	E	D	B	A	7,240422295					
6	1	0	R\$ 8.723,14	0,616	C	D	E	B	A	6,862827406					
7	5	0,014	R\$ 11.323,95	0,716	D	E	C	B	A	6,858230172					
8	3	0,019	R\$ 9.635,56	0,746	D	C	E	B	A	6,412220933					

Figura 5.24 – Exemplo da Planilha Notas

Na coluna A da planilha nota é apresentado o número do cenário, de acordo com a ordem que ele foi gerado. Nas colunas B, C e D estão as variáveis ponderadas (Atraso-Médio, Lucro ao Dia e Desvio Padrão da média de utilização de máquinas). Nas colunas E, F, G, H e I está o seqüenciamento. Na coluna J está a nota obtida pelo Cenário.

Todo o processo anteriormente descrito é apresentado na Figura 5.25.

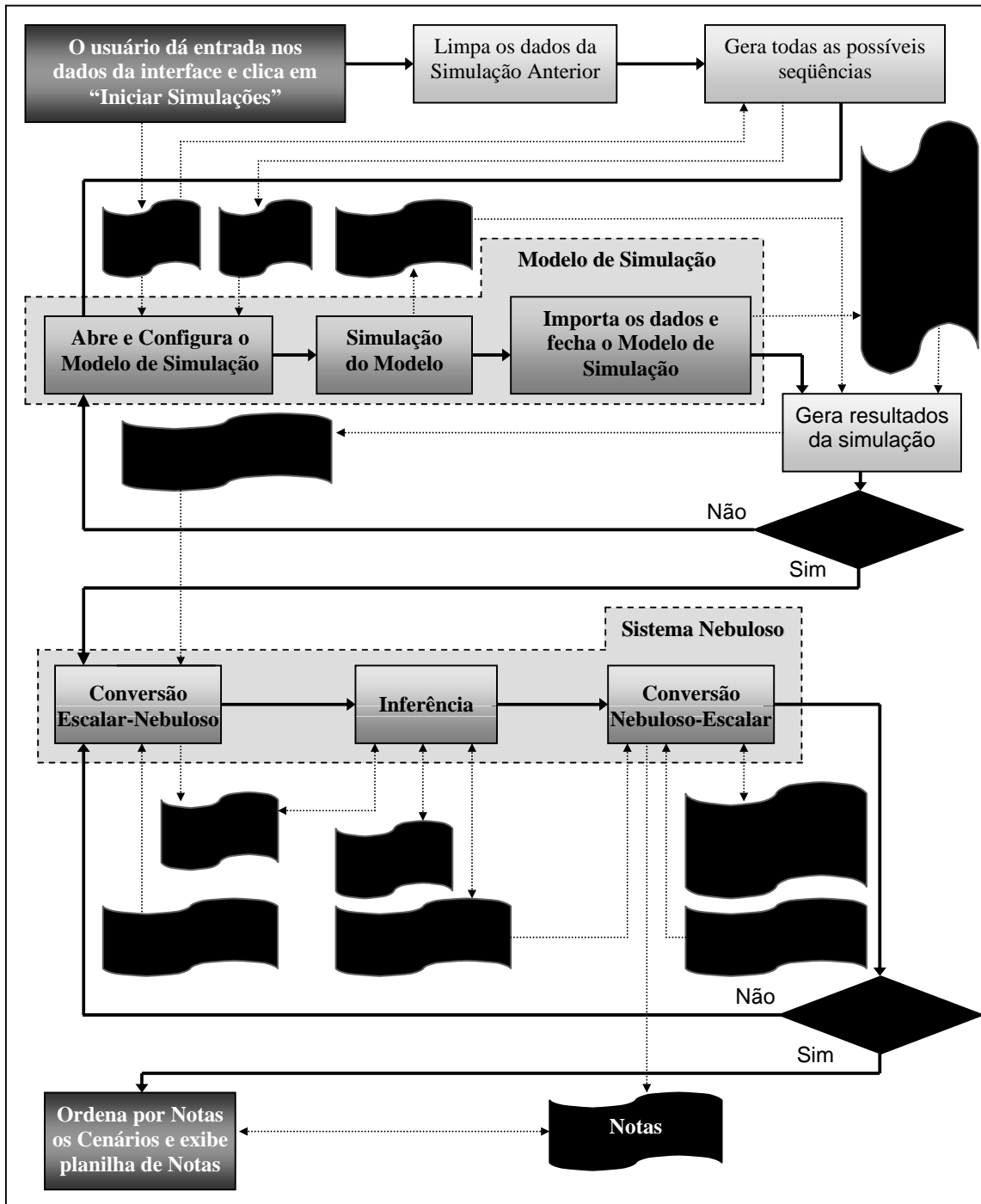


Figura 5.25 – Funcionamento detalhado do ACS

Capítulo 6 - Testes do Avaliador de Cenários Simulados

Para avaliação do sistema proposto foram realizados testes de simulação onde inicialmente configurou-se o sistema em uma situação onde todas as máquinas estavam funcionando perfeitamente e as matérias primas estivessem todas disponíveis.

Na primeira configuração foi avaliado se o FMS é capaz de cumprir todos os prazos, com boa distribuição da utilização de máquinas e um bom lucro-dia. Depois foram identificados alguns eventos que prejudicassem a produção para avaliar a capacidade do ACS para o re-seqüenciamento da produção.

Alguns dados da produção foram padronizados em todos os eventos que serão apresentados. Os dados padronizados são: a quantidade a produzir, a quantidade produzida, o prazo e o lucro unitário de cada tipo de produto. Os valores dos dados que foram padronizados para os testes no ACS podem ser observados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Configuração padrão para os eventos apresentados

Produto	Quantidade a Produzir	Quantidade Produzida	Prazo	Lucro Unitário
Produto A	400	260	1	40
Produto B	275	140	3	35
Produto C	200	89	1	25
Produto D	310	175	2	50
Produto E	475	285	2	45

Os testes realizados não se restringiram aos dados apresentados na Tabela 6.1 mas somente serão apresentados os eventos que utilizaram esses dados para a apresentação dos resultados.

Nem todos os eventos simulados para esta configuração serão apresentados nos relatórios que seguem nesse capítulo devido à grande quantidade de eventos simulados. Serão apresentados apenas 8 eventos os quais foram escolhidos com o objetivo de demonstrar o funcionamento e resultados do sistema.

Evento 1 – Todas Máquinas Funcionando e Todas Matérias Primas Disponíveis.

Conforme já citado este evento simula o funcionamento normal do FMS para produzir o que foi apresentado na demanda da Tabela 6.1. A avaliação dos cenários gerou e o relatório

mostrado na Figura 6.1. Para esta configuração o ACS simulou 120 seqüências, pois é possível produzir 5 produtos o que gera 120 possíveis combinações.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		Atraso	Lucro	Disp	Sequenciamento					Avaliação
3	45	0	R\$ 17.784,15	0,755	D	A	C	E	B	8,890700692
4	39	0	R\$ 17.311,21	0,688	D	A	C	B	E	8,67638958
5	63	0,001	R\$ 16.918,98	0,759	D	C	A	B	E	8,433472311
6	21	3E-04	R\$ 16.566,18	0,743	A	D	C	E	B	8,374432096
7	19	0	R\$ 16.199,89	0,751	A	C	D	E	B	8,291695079
8	47	0,074	R\$ 17.859,30	0,736	D	A	E	C	B	8,218971735
9	14	0	R\$ 15.669,16	0,742	A	C	E	B	D	8,204047872
10	20	0	R\$ 15.669,16	0,742	A	C	E	D	B	8,204047872
11	7	0	R\$ 15.028,34	0,694	A	C	B	D	E	8,179086155
12	13	0	R\$ 15.028,34	0,694	A	C	D	B	E	8,179086155
13	69	0,002	R\$ 17.361,43	0,812	D	C	A	E	B	8,091754637
14	15	0,02	R\$ 15.920,75	0,698	A	D	C	B	E	8,086957006
15	71	0,125	R\$ 17.906,83	0,729	D	E	A	C	B	8,08584198
16	46	0,017	R\$ 15.458,63	0,751	E	A	C	D	B	7,966234953
17	40	0,017	R\$ 15.458,63	0,751	E	A	C	B	D	7,966234953
18	16	0,031	R\$ 15.658,07	0,707	A	E	C	B	D	7,965481637
19	22	0,031	R\$ 15.660,39	0,707	A	E	C	D	B	7,965441008
20	8	0,005	R\$ 14.188,92	0,693	A	C	B	E	D	7,957621232
21	65	0,204	R\$ 17.571,15	0,591	D	E	A	B	C	7,841652461
22	23	0,061	R\$ 16.719,43	0,706	A	D	E	C	B	7,805258464
23	41	0,138	R\$ 17.612,24	0,606	D	A	F	B	C	7,776182649

Figura 6.1 – Relatório Parcial de Ensaio para Evento 1.

Na coluna A dessa da planilha nota são apresentados o número dos cenários, de acordo com a ordem que eles foram gerados. Nas colunas B, C e D estão os valores das variáveis ponderadas (Atraso-Médio, Lucro ao Dia e Desvio Padrão da média de utilização de máquinas). Nas colunas E, F, G, H e I está o sequenciamento. Na coluna J está a nota obtida pelo Cenário

Se o sequenciamento da produção fosse feito usando regras de prioridade (tópico 2.2.1.1.) e fosse adotado o critério da Data Devida a seqüência escolhida seria 19-ACDEB, 20-ACEDB, 43-CADEB ou 44-CAEDB. Analisando os dados gerados para este evento foi possível perceber que:

- As seqüências 19-ACDEB (linha 7 da Figura 6.1) e 20-ACEDB (linha 10 da Figura 6.1), estão entre as 10 primeiras seqüências indicadas pelo ACS, mas não são as primeiras, por existem cenários que conseguem cumprir os prazos e apresentam maior lucro ao dia.

- As seqüências 43-CADEB e 44-CAEDB possuem, depois da ordenação as posições 38 e 45 respectivamente, porque não apresentam bons resultados com relação ao Atraso Médio.

Evento 2 – Máquina 1 quebrada e Todas Matérias Primas Disponíveis.

Neste evento é simulada a quebra da Máquina 1 e o FMS tendo que produzir o que foi apresentado na demanda da Tabela 6.1. Todos os produtos que utilizam a Máquina 1 no seu processo de fabricação possuem roteiros alternativos para esta máquina, portanto todos os produtos continuarão sendo produzidos. A avaliação dos cenários gerou o relatório mostrado na Figura 6.2. Para esta configuração o ACS também simulou 120 seqüências, pois também é possível produzir 5 produtos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		Atraso	Lucro	Disp	Sequenciamento					Avaliação
3	39	0,02	R\$ 16.298,90	0,775	D	A	C	B	E	8,006257412
4	20	0,006	R\$ 14.903,11	0,766	A	C	E	D	B	7,92307495
5	19	0,006	R\$ 14.607,90	0,753	A	C	D	E	B	7,911308426
6	22	0,029	R\$ 16.191,58	0,78	A	E	C	D	B	7,869790872
7	15	0,02	R\$ 15.907,66	0,793	A	D	C	B	E	7,849172874
8	13	0,003	R\$ 15.180,76	0,801	A	C	D	B	E	7,823844352
9	46	0,029	R\$ 16.023,72	0,794	E	A	C	D	B	7,791545186
10	69	0,033	R\$ 15.782,03	0,778	D	C	A	E	B	7,753180082
11	23	0,063	R\$ 16.012,88	0,708	A	D	E	C	B	7,748167561
12	21	0,064	R\$ 15.500,47	0,699	A	D	C	E	B	7,717819237
13	45	0,053	R\$ 16.270,79	0,767	D	A	C	E	B	7,707018583
14	16	0,066	R\$ 15.609,59	0,726	A	E	C	B	D	7,661697505
15	63	0,036	R\$ 15.579,25	0,796	D	C	A	B	E	7,650396332
16	40	0,066	R\$ 15.442,40	0,732	E	A	C	B	D	7,617208732
17	14	0,046	R\$ 14.341,22	0,713	A	C	E	B	D	7,586269952
18	48	0,075	R\$ 16.347,44	0,793	E	A	D	C	B	7,518766261
19	24	0,075	R\$ 16.506,62	0,785	A	E	D	C	B	7,507953253
20	70	0,057	R\$ 15.434,21	0,8	E	C	A	D	B	7,492811677
21	47	0,075	R\$ 16.956,10	0,801	D	A	E	C	B	7,481495117
22	43	0	R\$ 13.151,02	0,739	C	A	D	E	B	7,470816032
23	10	0,118	R\$ 15.553,20	0,7	A	E	B	C	D	7,424633161

Figura 6.2 – Relatório Parcial de Ensaio para Evento 2

Analisando novamente a possibilidade do seqüenciamento da produção ser feito usando regras de prioridade (tópico 2.2.1.1.) e ser adotado o critério da Data Devida, a seqüência escolhida também seria 19-ACDEB, 20-ACEDB, 43-CADEB ou 44-CAEDB. Analisando os dados gerados para este evento foi possível perceber que:

- As seqüências 19-ACDEB (linha 5 da Figura 6.2) e 20-ACEDB (linha 4 da Figura 6.2) estão entre as 10 primeiras seqüências, mas neste caso elas ocupam as posições 3 e 2 respectivamente, apesar de ter atraso médio menor que a seqüência escolhida como a primeira seqüência, elas apresentam resultados piores em relação às outras variáveis.

- As seqüências 43-CADEB e 44-CAEDB possuem depois da ordenação as posições 20 e 34 respectivamente, porque novamente não apresentam bons resultados com relação ao Atraso Médio.

Evento 3 – Máquina 2 quebrada e Todas Matérias Primas Disponíveis.

Neste evento é simulada a quebra da Máquina 2 e o FMS tendo que produzir o que foi apresentado na demanda da Tabela 6.1. A quebra da Máquina 2 torna impossível a fabricação do lote de produtos B. Os outros produtos que utilizam esta máquina, por possuírem roteiros alternativos, continuarão sendo produzidos. A avaliação dos cenários gerou o relatório mostrado na Figura 6.3. Para esta configuração o ACS simulou apenas 24 seqüências, pois é possível produzir apenas 4 produtos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		Atraso	Lucro	Disp	Sequenciamento					Avaliação
3	1	0	R\$ 14.492,90	0,621	A	C	D	E	B	8,254236821
4	15	0,03	R\$ 15.702,81	0,535	D	C	A	E	B	8,253466325
5	9	0,059	R\$ 16.209,65	0,594	D	A	C	E	B	8,081968201
6	11	0,06	R\$ 16.204,78	0,601	D	A	E	C	B	8,037316419
7	2	0,009	R\$ 13.590,83	0,624	A	C	E	D	B	7,969449475
8	3	0,06	R\$ 15.124,23	0,599	A	D	C	E	B	7,947911732
9	5	0,061	R\$ 15.114,32	0,603	A	D	E	C	B	7,834707964
10	4	0,01	R\$ 13.601,35	0,678	A	E	C	D	B	7,753347453
11	7	0	R\$ 12.539,68	0,607	C	A	D	E	B	7,726451286
12	6	0,08	R\$ 14.432,29	0,63	A	E	D	C	B	7,383356264
13	8	0	R\$ 12.084,68	0,653	C	A	E	D	B	7,292903885
14	21	0,182	R\$ 15.180,51	0,62	D	C	E	A	B	7,179038935
15	23	0,185	R\$ 15.158,95	0,628	D	E	C	A	B	7,111016661
16	17	0,185	R\$ 15.158,95	0,628	D	E	A	C	B	7,111016661
17	13	0,025	R\$ 12.542,23	0,648	C	D	A	E	B	7,073370091
18	19	0,171	R\$ 12.532,51	0,648	C	D	E	A	B	6,166207881
19	14	0,13	R\$ 9.767,94	0,62	C	E	A	D	B	6,052156829
20	20	0,171	R\$ 10.244,30	0,625	C	E	D	A	B	6,012525085
21	12	0,186	R\$ 12.272,14	0,734	E	A	D	C	B	5,896483194
22	18	0,186	R\$ 12.272,14	0,734	E	D	A	C	B	5,896483194
23	24	0,177	R\$ 12.242,49	0,737	F	D	C	A	B	5,892682363

Figura 6.3 – Relatório Parcial de Ensaio para Evento 3

A diminuição da quantidade de cenários possíveis faz com que a numeração dos cenários seja diferente para este evento. Mas para análise é possível observar as mesmas seqüências apresentadas em ordem diferente.

Evento 4 – Máquina 1 quebrada e Falta de Matéria Prima para os lote de produto B.

Com a mesma numeração de cenários do evento 3 e estando produzindo os mesmos produtos é possível observar que houve alterações na ordem avaliada, isso por que a quebra da máquina 1 retardou a produção, provocou atrasos em seqüenciamentos diferentes e distribuição de máquinas e lucro ao dia também diferentes. Estas alterações nos resultados mostram a necessidade de re-seqüenciamento.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		Atraso	Lucro	Disp	Sequenciamento					Avaliação
3	4	0,034	R\$ 15.232,74	0,711	A	E	C	D	B	7,87181449
4	2	0,008	R\$ 13.956,03	0,69	A	C	E	D	B	7,871807978
5	1	0,008	R\$ 13.631,60	0,677	A	C	D	E	B	7,795794741
6	5	0,075	R\$ 15.004,03	0,602	A	D	E	C	B	7,784776849
7	10	0,035	R\$ 15.067,15	0,735	E	A	C	D	B	7,783694107
8	15	0,04	R\$ 14.824,68	0,701	D	C	A	E	B	7,771766951
9	3	0,077	R\$ 14.500,20	0,59	A	D	C	E	B	7,756445075
10	9	0,063	R\$ 15.325,15	0,689	D	A	C	E	B	7,705950768
11	6	0,09	R\$ 15.549,02	0,708	A	E	D	C	B	7,556341863
12	11	0,09	R\$ 15.997,63	0,734	D	A	E	C	B	7,533616353
13	12	0,09	R\$ 15.390,26	0,723	E	A	D	C	B	7,493263014
14	16	0,069	R\$ 14.477,13	0,726	E	C	A	D	B	7,441782845
15	7	0	R\$ 12.143,15	0,649	C	A	D	E	B	7,317470427
16	8	0	R\$ 12.456,44	0,727	C	A	E	D	B	7,200195087
17	18	0,17	R\$ 15.467,19	0,724	E	D	A	C	B	7,135921973
18	17	0,127	R\$ 13.839,43	0,675	D	E	A	C	B	7,000917814
19	22	0,18	R\$ 14.503,65	0,699	E	C	D	A	B	6,972976568
20	24	0,21	R\$ 15.144,59	0,726	E	D	C	A	B	6,95776439
21	23	0,166	R\$ 13.476,26	0,686	D	E	C	A	B	6,726995009
22	13	0,04	R\$ 12.531,12	0,751	C	D	A	E	B	6,614895373
23	14	0,078	R\$ 10.893,51	0,645	C	F	A	D	B	6,415894243

Figura 6.4 – Relatório Parcial de Ensaio para Evento 4

Evento 5 – Máquina 3 quebrada e Todas Matérias Primas Disponíveis.

Neste evento é simulada a quebra da Máquina 3 e o FMS tendo que produzir o que foi apresentado na demanda da Tabela 6.1. A quebra da máquina 3 torna impossível a fabricação

dos lotes de produto B e A. Os outros produtos que utilizam esta máquina, por possuírem roteiros alternativos, continuarão sendo produzidos. A avaliação dos cenários gerou o relatório mostrado na Figura 6.5. Para este evento foram simuladas apenas 6 seqüências.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		Atraso	Lucro	Disp	Sequenciamento					Avaliação
3	4	0	R\$ 12.348,04	0,599	E	C	D	B	A	7,764768561
4	6	0,03	R\$ 12.871,90	0,606	E	D	C	B	A	7,278575963
5	2	0	R\$ 9.786,66	0,603	C	E	D	B	A	7,240422295
6	1	0	R\$ 8.723,14	0,616	C	D	E	B	A	6,862827406
7	5	0,014	R\$ 11.323,95	0,716	D	E	C	B	A	6,858230172
8	3	0,019	R\$ 9.635,56	0,746	D	C	E	B	A	6,412220933
9										

Massa / Centro-Massa / Centro-MassaXMassa / Nota /

Figura 6.5 - Relatório de ensaio para Evento 5.

Evento 6 – Máquina 4 quebrada e Todas Matérias Primas Disponíveis.

Neste evento é simulada a quebra da Máquina 4 e o FMS tendo que produzir o que foi apresentado na demanda da Tabela 6.1. A quebra da máquina 4 torna impossível a fabricação dos lotes de produtos E, D e B. Os lote de produto C, que utilizam esta máquina, por possuírem roteiros alternativos continuarão sendo produzidos. A avaliação dos cenários gerou o relatório mostrado na Figura 6.6. Para este evento é possível a escolha de apenas 2 seqüências diferentes.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		Atraso	Lucro	Disp	Sequenciamento					Avaliação
3	1	0	R\$ 9.152,71	0,641	A	C	E	D	B	6,788494847
4	2	0	R\$ 6.480,75	0,798	C	A	E	D	B	6,02310933
5										

Massa / Centro-Massa / Centro-MassaXMassa / Nota /

Figura 6.6 - Relatório de ensaio para Evento 6.

Evento 7 – Máquina 5 quebrada e Todas Matérias Primas Disponíveis.

Neste evento é simulada a quebra da Máquina 5 e o FMS tendo que produzir o que foi apresentado na demanda da Tabela 6.1. A quebra da máquina 5 torna impossível a fabricação dos lotes de produtos A e D. Os lote de produto C, que utilizam esta máquina, por possuírem roteiros alternativos continuarão sendo produzidos. A avaliação dos cenários gerou o relatório mostrado na Figura 6.7. Para este evento é possível a escolha de 6 seqüências diferentes.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		Atraso	Lucro	Disp	Sequenciamento					Avaliação
3	6	0	R\$ 11.029,15	0,783	E	C	B	D	A	6,649897654
4	3	0	R\$ 7.807,98	0,73	C	B	E	D	A	6,395103014
5	5	0	R\$ 8.916,16	0,78	C	E	B	D	A	6,1578482
6	4	0,092	R\$ 10.496,90	0,824	E	B	C	D	A	5,211739566
7	1	0	R\$ 6.260,18	0,868	B	C	E	D	A	5
8	2	0,111	R\$ 5.927,82	0,832	B	E	C	D	A	4,614081769
9										



 \ Massa / Centro-Massa / Centro-MassaXMassa \ Nota /

Figura 6.7 - Relatório de ensaio para Evento 7

Evento 8 – Máquina 6 quebrada e Todas Matérias Primas Disponíveis.

Neste evento é simulada a quebra da Máquina 6 e o FMS tendo que produzir o que foi demandado na Tabela 6.1. A quebra da máquina 6 torna impossível a fabricação dos lote de produto B e do tipo E. Os lote de produto C, que utilizam esta máquina, por possuírem roteiros alternativos continuarão sendo produzidos. A avaliação dos cenários obteve o relatório mostrado na Figura 6.8. Para este evento é possível a escolha de 6 seqüências diferentes.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		Atraso	Lucro	Disp	Sequenciamento					Avaliação
3	4	0,023	R\$ 13.790,40	0,579	D	A	C	E	B	7,987722882
4	1	0	R\$ 11.802,52	0,561	A	C	D	E	B	7,641339761
5	2	0,023	R\$ 12.588,78	0,567	A	D	C	E	B	7,526014228
6	6	0,043	R\$ 13.079,19	0,66	D	C	A	E	B	7,244809433
7	5	0	R\$ 9.917,28	0,659	C	D	A	E	B	6,94786002
8	3	0	R\$ 9.954,50	0,698	C	A	D	E	B	6,832416909
9										



 \ Massa / Centro-Massa / Centro-MassaXMassa \ Nota /

Figura 6.8 - Relatório de ensaio para Evento 8

Observando esses diferentes eventos é possível encontrar similaridade de alguns seqüenciamentos escolhidos com seqüenciamentos que seriam escolhidos usando as Regras de Prioridade, como por exemplo no evento 3 o cenário avaliado como melhor cenário poderia ter sido escolhido se a regra de prioridade escolhida fosse a Data Devida. No evento 5 o melhor cenário poderia ter sido escolhido pelo critério do menor tempo de processamento. Mas seria impossível para o administrador da produção escolher a regra de prioridade certa para cada caso, tendo em vista que eles mudam de um evento para o outro.

Na maioria dos eventos simulados o seqüenciamento não tem relacionamento com as regras de prioridade citadas. Nesses casos não seria possível chegar às seqüências escolhidas sem o uso da simulação.

Capítulo 7 - Conclusão e Trabalhos Futuros

O sistema foi proposto, implementado e testado para aplicação em um modelo de FMS trabalhado por um grupo de pesquisa do DC-UFSCar, a Fábrica Inteligente UFSCar, que é um FMS, e obteve resultados semelhantes aos resultados obtidos por especialista, o que demonstra que a avaliação de cenários simulados para re-seqüenciamento da produção através de lógica nebulosa é viável para utilização neste FMS.

A não ocorrência de empates entre cenários simulados que não apresentaram resultados de simulação idênticos mostra que o ACS apresenta uma avaliação robusta e com boa precisão. Também devido a não ocorrência de empates há sempre um cenário apresentado como melhor nota, este fato e a concordância com a avaliação do especialista mostra que o ACS pode tanto ser utilizado como um sistema de apoio a tomada de decisão como um sistema para tomada de decisão. Portanto pode-se considerar que o ACS proposto pode se enquadrar nos dois contextos, como um SAD ou como um STD.

Primeiramente, conforme o ACS funciona atualmente, como um Sistema de Apoio à Decisão (SAD). Dada a ocorrência de um evento no FMS onde seja necessária a escolha de um novo seqüenciamento, o FMS informa ao usuário, o usuário faz uso de uma ferramenta computacional, no caso o ACS. Os novos dados são inseridos no ACS que ativa o simulador, este por sua vez realiza a simulação e retorna ao ACS os relatórios da simulação. O ACS analisa os dados e retorna ao usuário o relatório dos cenários avaliados e ordenados segundo os critérios pré-estabelecidos. O usuário escolhe um dentre os cenários que tiveram melhor avaliação e configura seus dados no FMS. A escolha do cenário pode levar em consideração quaisquer outros critérios não ponderados no ACS. Este processo é apresentado no diagrama da Figura 7.1.

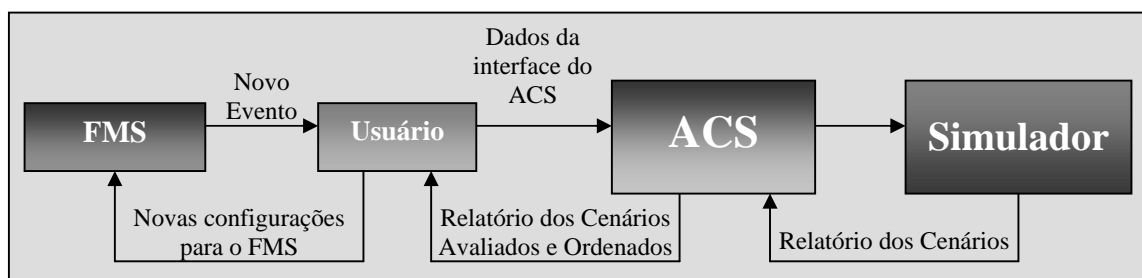


Figura 7.1 – Esquema do ACS inserido no Contexto como SAD.

O outro contexto no qual o ACS poderia ser inserido é como um STD (Sistema de Tomada de Decisão) em um sistema computacional de re-seqüenciamento da produção. Nesse caso, dado um evento no FMS, o ACS seria acionado, detectaria as alterações que o evento ocorrido causou ao FMS, solicitaria, caso necessário, as demais informações ao usuário, o ACS ativaria o simulador e este por sua vez realizaria a simulação e retornaria ao ACS os relatórios dos cenários simulados. O ACS elegeria um cenário e indicaria as novas configurações para o FMS, conforme esquematizado na Figura 7.2.

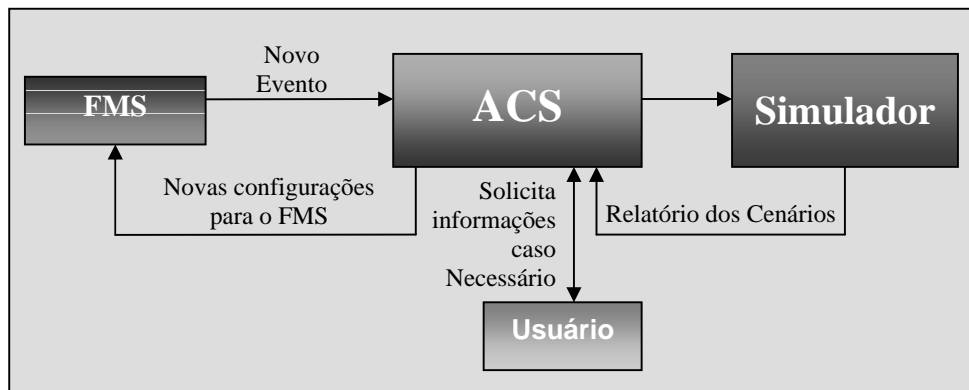


Figura 7.2 – Esquema do ACS inserido no contexto como um tomador de decisão.

Quanto maior a gama de produtos maior a aplicabilidade do sistema, tendo em vista que a dificuldade de se avaliar os desempenhos aumenta devido ao aumento exponencial da quantidade de cenários.

O ACS na maneira como apresentado antes de iniciar o processo de simulação gera todas as seqüências possíveis dado à ocorrência de um determinado evento. No ambiente estudado existem apenas 5 produtos, que geram 120 possíveis seqüências e que demoram a ser simulados aproximadamente 30 minutos. Se o ambiente tivesse, por exemplo, 10 produtos, geraria 3628800 possíveis seqüências e levaria vários dias para serem simuladas, o que tornaria o sistema inviável.

Nesse contexto o ACS pode ser ainda aplicado trabalhando em conjunto com o SADSP e o SPPS anteriormente citados (Carvalho, 2003), (Kato et al., 2000), (Maia et al., 2002a), (Maia et al., 2002b), (Desco et al., 2002) e (Maia et al., 2003).

Nesse trabalho em conjunto o SADSP seleciona uma quantidade pré-definida de cenários repassando-os ao SPPS para realizar a simulação.

O ACS faz a avaliação apenas desses cenários simulados.

As funções de pertinência e regras utilizadas apresentaram bons resultados considerando-se os objetivos propostos no ambiente considerado. É importante observar que mudanças nos objetivos da produção podem acarretar mudanças no seqüenciamento e, portanto exigiriam mudanças nas regras e nas funções de pertinência.

As variáveis utilizadas no sistema nebuloso apresentado foram identificadas para o ambiente proposto, pois permitem observar se os objetivos da produção são atingidos pelo cenário avaliado. Portanto a mudança dos objetivos da produção poderá acarretar em mudanças na escolha de variáveis.

Além das variáveis apresentadas foram estudadas diversas outras variáveis que não foram utilizadas por uma das seguintes justificativas:

- Não ter relação com os objetivos estratégicos dessa produção.
- Não resultarem em alterações nos conjuntos de saída.
- Por que o seqüenciamento não é alterado por essas variáveis.
- Pela impossibilidade de ser obtida devido às características desse FMS.

Entre essas outras variáveis, destacaram-se nessa pesquisa as seguintes:

- Média de Produção dos Produtos que Extrapolaram a Demanda: Objetivaria a geração de estoques o mais próximo possível dos programados.
- Proximidade do Tempo de Utilização das Máquinas: Tem como objetivo o uso uniforme das máquinas que realizam o mesmo serviço. Pode-se considerar que, havendo a utilização uniforme das máquinas, não haverá sobrecarga de nenhuma delas, diminuindo a possibilidade de quebra.
- Utilização do Buffer da Máquina: O excesso de utilização de *buffer* de alguma máquina pode indicar que esta máquina esteja diminuindo a performance de todo sistema. Mas o seqüenciamento não é a melhor forma de se resolver este problema.
- Tempo Total de Produção: Objetivaria atender a velocidade de produção.

- Tempo médio excedente: Esta variável informaria quanto tempo em média os produtos ficaram prontos antes do prazo. O uso dessa variável objetivaria a diminuição do tempo em que o produtos ficam em estoque antes de serem entregues.

Considerando que os objetivos e as estratégias de uma empresa podem ser alteradas, devido a diversos fatores, principalmente os relacionados ao mercado. Em empresas onde essas alterações são constantes o ACS pode ser adaptado para que compreenda diversas estratégias de uma empresa, ou seja, um ACS mais flexível poderia oferecer ao usuário uma série de estratégias e então o ACS analisaria os dados utilizando esta estratégia escolhida pelo usuário.

A simulação pode ser utilizada na tarefa de seqüenciamento e de re-seqüenciamento da produção, desde de que seja adicionada a outras ferramentas que possibilitem a diminuição e avaliação de cenários a serem simulados e avaliados.

A simulação é uma importante ferramenta de apoio ao planejamento e controle da produção. É importante por possibilitar que o administrador da produção tenha uma estimativa, bastante próxima da realidade, do que ocorrerá na produção dada alguma mudança física ou estratégica.

O seqüenciamento da produção é uma tarefa difícil de ser realizada em curto prazo, devido a quantidade de possíveis seqüências e a dificuldade de estimar a produção e os prazos em cada seqüência. A simulação, adicionada a outras ferramentas como o ACS, SADSP (Carvalho, 2003) e o SPPS (Kato et al., 2000) (Maia et al., 2002a) (Maia et al., 2002b) (Desco et al., 2002) (Maia et al., 2003) diminuem a dificuldade dessa tarefa, possibilitando que seja realizada em curto prazo.

O sistema aqui apresentado avalia os cenários de acordo com a estratégia e os objetivos descritos no capítulo 5, o que torna o sistema restrito a essas condições. Mas o sistema pode perfeitamente ser utilizado como modelo para o desenvolvimento de sistemas adaptados aos objetivos da produção que se deseja apoiar.

O ACS pode ser adaptado para que, além de avaliar o seqüenciamento da produção, possa ser utilizado para avaliar regras de despacho de AGV's, regras de seleção de máquinas

ou qualquer outra regra que possa ser configurada no simulador e no FMS. Poderiam ser combinadas, por exemplo, as regras de seleção de máquinas e as regras de despacho utilizadas em Kazerooni et al. (1997) com as seqüências utilizadas neste trabalho, existiriam então 15 cenários para cada seqüência.

O modelo de simulação descrito em Maia et al. (2002), gera uma série de relatórios que auxiliam na tarefa de planejamento e controle da produção e que podem, ser incorporadas ao modelo de simulação do ACS para que tal modelo de simulação possa ser utilizado para apoiar outras tarefas do planejamento e controle da produção.

Referências Bibliográficas

- Ackoff, R. L.; Sasiene, M.W.; Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977.
- Banks, J.; Carson J. S.; *Discrete-Event System Simulation*; New Jersey: Prentice-Hall; 1984.
- Banks, J.; Carson II; J. S.; Nelson, B.L.; *Discrete-Event System Simulation*; 2ª ed. New Jersey: Prentice-Hall; 1996.
- Banks, J.; Handbook of Simulation – Principles, Methodology, Advances, Application and Practice John Wiley & Sons, 1998.
- Baroni, A.; Borchar, M.; Maziero, C.; Burnett, R.; ASPEN – Um ambiente para edição análise e simulação de redes de Petri. Curitiba – Paraná, 2000
- Benincasa, A. X.; Morandin Jr., O.; Kato, E. R. R.; Reactive Fuzzy Dispatching Rule for Automated Guided Vehicles. *SMC2003-IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Washington - USA, October 2003.
- Benincasa, A. X.; *Um Modelo de Sistema Fuzzy para Despacho de Veículos Autoguiados em Manufatura Integrada*. São Carlos, 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação)-UFSCar.
- Bento, P. E. G.; *O Trabalho nos Sistemas Automatizados e Flexíveis Na Manufatura Metal-Mecânica*. São Paulo, 1996. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção)-Escola Politécnica da USP.
- Bojadziev, G.; Bojadziev, M.; *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Applications*; World Scientific; 1995.
- Carvalho, V. O.; Morandin Jr., O.; Kato, E. R. R.; Similarity Measure Between Sceneries Through Fuzzy Inference. *SMC2002-IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Hammamet - Tunisia, October 2002.
- Carvalho, V. O.; *Um Modelo de Seqüenciamento da Produção para um Sistema de Apoio à Decisão*. São Carlos, 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação)-UFSCar.

- Chan, F. T. S.; Jiang, B.; Tang, N. K. H.; The Development of Intelligent Decision Support Tools to Aid the Design of Flexible Manufacturing Systems; *International Journal of Production Economics*; Vol. 65, No. 1, pp. 73-84, 2000.
- Choobineh, F.; Suri, R.; “Flexible Manufacturing Systems Current Issues and Models”; *Industrial Engineering and Management Press Institute of Industrial Engineers*; 1986.
- Descó, M. B.; Maia, J. L.; Morandin Jr., O.; Kato, E. R. R.; Production Planning System Based on Simulation (PPSS): Application Methodology; CBA – Congresso Brasileiro de Automática, Natal, 2002.
- Fernandes, F. C. F.; *Concepção de um Sistema de Controle da Produção para a Manufatura Celular*. São Carlos, 1991. Tese de Doutorado – EESC-USP-São Carlos.
- Fernandes, M. C.; de Freitas, A. H.; Morandin Jr., O.; Kato, E. R. R.; Production Re-sequencing for Manufacturing Based on Discrete Event Simulation and Fuzzy Inference; *SMC2003-IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Washington - USA, October 2003
- Gavira, M.O.; *Simulação Computacional como ferramenta para aquisição de conhecimento*. São Carlos, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-USP-São Carlos.
- Gaither, N.; Frazier, G.; *Administração da Produção e Operações*; 8ª edição; Pioneira Thomson Learning, 2001.
- Groover, M.P.; *Automation, Production Systems and Computer Integrated Manufacturing*, New Jersey: Prentice-Hall, 1987.
- Gogg, T.; Mott, J.; Introduction to Simulation, Proceedings of the 1993 Winter Simulation Conference, pp 9-17, 1993
- Goulart, C.P., *Proposta de um Modelo de Referência para Planejamento e Controle da Produção em Empresas Virtuais*. São Carlos, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - USP - São Carlos.

- Karsak E.E.; Kuzgunkaya O.; A fuzzy multiple objective programming approach for the selection of a flexible manufacturing system. *International Journal of Production Economics*; October 2000.
- Lahmar, M.; Ergan, H.; Benjaafar, S.; Resequencing and Feature Assignment on an Automated Assembly System; *IEEE Transactions on Robotics and Automation*; 2003.
- INMET Instituto Nacional de Meteorologia, Página da Internet: http://www.inmet.gov.br/produtos/climatologia/conforto_term/. Acessado em 10/04/2003
- Kato, E. R. R.; Morandin Jr., O.; Politano, P. R. Camargo, H. A.; Zampronio, J.; Production Planning System Based on Simulation: Finding the best Plant Stocking Policy, *Proceedings of the IV INDUSCON – IEEE – Industry Applications Society*, pp. 435-440. Porto Alegre, RS, Novembro, 2000.
- Kazerrooni, A.; Chan, F.T.S.; Abhary K.; A fuzzy integrated decision-making support system for scheduling of FMS using simulation, *Computer Integrated Manufacturing* Vol. 10 No. 1. pp 27-34; 1997.
- Klingstam, P.; Gullander, P; Overview of simulation tools for computer-aided production engineering; *Computer in Industry* 38, pp 173-186; 1999.
- Maia, J. L.; Desco, M. B.; Kato, E. R. R.; Morandin Jr., O.; Production Planning System Based on Simulation (PPSS): Evaluation Short-Term Rescheduling; *INDUSCON-IEEE – Industry Applications Society*; Salvador; 2002a.
- Maia, J. L.; Desco, M. B.; Morandin Jr. O.; Kato, E. R. R.; Expanding the Production Planning System based on Simulation (PPSS) to dynamically reschedule production in a FMS; *SMC2002-IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Hammamet - Tunisia, October 2002b.
- Maia, J. L.; Desco, M. B.; Morandin Jr. O.; Kato, E. R. R.; PPSSNET: A Production Simulation Server with Database Interfacing and Internet-Capable Data Acquisition; *SBAI – Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*; Bauru; 2003.

- Mamdani, E. H. Application of fuzzy algorithm for control of simple dynamic plant. *Proceedings of IEEE Control and Science*, 121(12), 1585-1588; 1974.
- Morandin Jr., O.; *Projeto de Construção de um veículo auto-guiado para sistemas flexíveis de Manufatura*. São Carlos, 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-EESC-USP-São Carlos.
- Morandin Jr., O.; *Metodologia de modelagem de Sistemas Automatizados de Manufatura, Utilizando Rede de Petri Virtual*; São Carlos, 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) EESC-USP-São Carlos.
- Morandin Jr., O.; Kato, E. R. R.; Virtual Petri Nets as a Modular Modeling Method for Planning and Control Tasks of FMS; *SMC2003-IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Washington - USA, October 2003
- Pires, S.; *Gestão estratégica da produção*. Piracicaba - UNIMEP, 1995.
- Pires, M. G.; Castro, P. A. D., Morandin Jr., O.; Camargo H. A., Kato, E. R. R.; A Real Time Production Sequencing Rule for machines of a FMS using Fuzzy Logic; *SMC2003-IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Washington - USA, October 2003
- Pegden, D.; Shannon, R.; Sadowski R. Introduction to Simulation using SIMAN, McGraw-Hill, Blacklike, USA, 1995.
- Prado, D. S. do; *Teoria das Filas e da Simulação*; Belo Horizonte, MG; 1999.
- Rezende, S. O.; *Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações*; Manole; 2003.
- Savinov, A.A.; Application of multi-dimensional fuzzy analysis to decision making; *Advances in Soft Computing - Engineering Design and Manufacturing*, R. Roy, T. Furuhashi and P.K. Chawdhry (Eds.), Springer-Verlag London Limited; 1999.
- Shannon, R.E.; *System Simulation: the art and science*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall, 1975

- Slack, N.; *Vantagem Competitiva em Manufatura: Atingindo Competitividade nas Operações Industriais*; Editora Atlas S.A.; 1993.
- Slack, N.; Chambers, S.; Harland, C.; Harrinson, A.; Johnston, R.; *Administração da Produção*; Editora Atlas S.A.; 1997.
- Slack, N.; Chambers, S.; Harland, C.; Harrinson, A.; Johnston, R.; *Administração da Produção*; Editora Atlas S.A.; 1999.
- Spano, M. R.; O'Grady, P. J.; Young, R. E.; The designed flexible manufacturing systems; *Computers in Industry*, Vol. 21 (1993) 185-198.
- Starr, M. K.; *Administração da Produção: Sistemas e Sínteses*; Edgard Blücher; 1976.
- Tubino, D. F.; *Manual de Planejamento e controle da Produção*; Editora Atlas, 2000.
- Terra, A. R. T.; *Programação da Produção: Uma abordagem por Redes Neurais Artificiais*. São Carlos, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção)-UFSCar.
- Williams, E. J.; Narayanaswamy, R.; Application of simulation to scheduling, sequencing, and material handling; *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, eds. S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson, 861-865.
- Yager, R.R.; Ovchinnikov, S. Tong, R.M.; Nguyen, N.T.; *Fussy Sets and Applications – Selected Papers by L.A. Zadeh*; Wiley-Interscience; 1987.
- Yen, J.; Langari, R.; Zadeh, L. A.; *Industrial Applications of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*; IEEE Press; 1994.
- Zadeh, L. A.; Coping with the imprecision of the Real World: An Interview with Lofti A. Zadeh. *C; Comm. ACM*. 27 (1984):304-311.b
- Zadeh, L. A.; The Role of Fussy Logic in the Management of Uncertainty in Expert Systems, *Fussy Sets and Systems*, 11 (1983), pp. 199-227.
- Zadeh, L. A.; *Fuzzy Sets, Information and Control* Vol. 8 New York Academic Press, 1965, pp. 338-353.

Zhao, Z.; De Souza, R.; Fuzzy rule learning during simulation of manufacturing resources;
Fuzzy Sets and Systems 122(2001) 469-485.