

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
**Sergio Roberto Pinton Saragioto**

**LÓGICA “FUZZY” APLICADA AO CONTROLADOR DE VELOCIDADE DE UMA  
LINHA DE MONTAGEM DE EIXOS DE VEICULOS**

**Taubaté - SP**  
**2012**

**Sérgio Roberto Pinton Saragioto**

**LÓGICA “FUZZY” APLICADA AO CONTROLADOR DE VELOCIDADE DE UMA  
LINHA DE MONTAGEM DE EIXOS DE VEICULOS**

Dissertação apresentada para obtenção de  
Título de Mestre pelo Curso de Mestrado  
Profissional em Engenharia Mecânica do  
Departamento de Engenharia Mecânica da  
Universidade de Taubaté

**Área de Concentração:** Automação

**Orientador:** Prof. Dr. Wilton Ney do Amaral  
Pereira

**Taubaté - SP**

**2012**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado  
de Bibliotecas – UNITAU - Biblioteca de Engenharia Mecânica**

S2431 Saragioto, Sérgio Roberto Pinton  
Lógica “Fuzzy” aplicada ao controlador de velocidade  
de uma linha de montagem de eixos de veículos. / Sérgio  
Roberto Pinton Saragioto - 2012.

113f. : il; 30 cm.

Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia  
Mecânica na área de Automação) – Universidade de  
Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica, 2012  
Orientador: Prof. Dr. Wilton Ney do Amaral Pereira,  
Departamento de Engenharia Mecânica.

1. “Fuzzy”. 2. Controle. 3. Montagem. 4. Velocidade  
do motor. I. Título.

**Sérgio Roberto Pinton Saragioto**

**LÓGICA “FUZZY” APLICADA AO CONTROLADOR DE VELOCIDADE DE UMA  
LINHA DE MONTAGEM DE EIXOS DE VEICULOS**

Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté como requisito para obtenção do Título de Mestre pelo Curso de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Automação

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Resultado: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Wilton Ney do Amaral Pereira – Universidade de Taubaté.

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dr. João Bosco Gonçalves – Universidade de Taubaté.

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Sebastião Cardoso – Vale Soluções em Energia.

Assinatura \_\_\_\_\_

Dedico este trabalho com todo o meu afeto aos meus pais: Agostinho e Annita que me educaram e deram-me a base da perseverança e do caráter. À minha adorável esposa Vivian pelo incentivo, compreensão e carinho. Aos meus filhos, André e Gabriel, fonte de inspiração.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela disposição, interesse e saúde para buscar com coragem e determinação aos objetivos que traço para a minha vida.

Ao Prof. Dr. Wilton Ney do Amaral, pela orientação e disponibilidade que sempre demonstrou e a receptividade desde os primeiros contatos, e sempre que necessário, com contribuições importantes durante todo o processo da pesquisa.

À Universidade de Taubaté que me proporcionou a oportunidade de realizar o curso de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica.

Ao Prof. Geraldo Moretti, pelos embates técnicos e científicos realizados durante o decorrer do período de estudo.

Por fim, agradeço tantas pessoas que me proporcionaram companhia, apoio e amizade durante a realização deste trabalho incluindo todos os colegas das Turmas XXII e XXIV do Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica e Professores Doutores, que proporcionaram grande aprendizado, troca de conhecimento e experiências.

“Para ver mais longe há de escalar  
ombros de gigantes.”

Adaptado de Isaac Newton

## RESUMO

Nos últimos tempos, as empresas de manufatura tiveram profundas alterações nos ambientes de atuação promovendo novos desafios, como atender aos clientes atingindo melhores resultados. Fatores como estes conduzem as organizações a adaptações significativas, redefinindo as estratégias básicas de manufatura, de maneira a se reposicionar, formando uma condição competitiva, sejam nos serviços e processos fabris. Um dos processos frequentes nas organizações são as montagens, e por isto teve foco neste trabalho. Este trabalho teve como objetivo definir uma sistemática de controle da velocidade do motor de uma linha de montagem para aumentar a produtividade. Esta sistemática foi estabelecida por meio de agregação de tecnologias robustas, capazes de incorporar vantagens competitivas no ambiente da manufatura. Esta aplicação foi definida em um modelo de produção com amplo leque de materiais, com um portfólio de produtos diversificado, com flutuações de demanda, complexas combinações de mix e singularidade operacional. Para atingir este resultado, diversas áreas de conhecimentos foram pesquisadas, como por exemplo, os pilares da manufatura competitiva associados aos modelos customizados, o dimensionamento das atividades dos montadores por meio dos tempos de processos, o rendimento deles diante dos fatores temporais e as características correlatas envolvidas junto ao ambiente de trabalho. O rendimento dos montadores, por sua vez, requereu pesquisas junto ao ambiente de montagem. Com base nestes conhecimentos foi aplicado a lógica “fuzzy” como instrumento de formação do controle, obtendo dois significativos ganhos: a redução dos tempos de montagens nas operações, minimizando os tempos ociosos decorrente ao processo e a diversificação do mix e volume do portfólio de produtos. O outro ganho obtido esta associado ao efeito do rendimento humano dos montadores. Este foi equalizado com as atividades produtivas durante o decorrer da jornada de trabalho. Devido ao perfil do processo singular, com notórias características de manufatura customizada e com diversas combinações de produtos na sequência de montagem, a redução dos tempos foi quantificada por meio de um modelo de simulação de manufatura discreta, elaborado com o software ARENA<sup>®</sup>, que comprovou um ganho de produtividade na ordem de 4%. Validando assim o empregando a lógica “fuzzy” do tipo 1 para a sistemática do controle do motor da linha de montagem de eixos para veículos comerciais.

**PALAVRAS-CHAVES:** “Fuzzy”, Controle, Montagem, Velocidade do Motor.

## **ABSTRACT**

Recently, manufacturing companies have had profound changes in work environments promoting new challenges such as serving customers reaching best results. Factors like these leading organizations to significant adjustments, redefining the basic strategies of manufacturing in order to reposition itself, forming a competitive condition, whether in services and manufacturing. One of the processes in organizations are frequent assemblies, and therefore had focus in this work. This study aimed to define a systematic control of motor speed of an assembly line to increase productivity. This system was established through aggregation of robust technologies, capable of incorporating competitive advantages in the manufacturing environment. This application has been defined in a production model with wide range of materials, with a diversified product portfolio with demand fluctuations, complex combinations of mix and operational uniqueness. To achieve this result, various areas of expertise were researched, as for example, the pillars of competitive manufacturing customized templates associated with the dimensioning of the assemblers activities through times of processes, the yield on these factors and temporal characteristics related involved with the working environment. The yield of the assemblers in turn, applied to the environment surveys assembly. Based on this knowledge was applied to "fuzzy" logic as a tool for training control, obtaining two significant gains: reducing assembly time operations, minimizing downtime due to process and the diversity and volume of the product portfolio. The other observed gain associated with this income effect of human assemblers. This was equalized with productive activities during the course of the workday. Due to the unique profile of the process, with notorious features custom manufacturing and with various combinations of products in the assembly sequence, the time reduction was quantified through a simulation model of discrete manufacturing, software developed with ARENA  $\square$ , which proved a productivity gain in the order of the 4%. Validating thus the employing "fuzzy" logic of type 1 for the systematic control of the engine assembly line of axles for commercial vehicles.

**Keywords:** Fuzzy, Control, Assembly Line, Engine Speed.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Macro plano de trabalho do estudo	19
Figura 02	Etapas na Lógica “fuzzy”, Fonte	22
Figura 03	Exemplo de geração de valores de saída sem a necessidade de entradas precisas em situações de Lógica Fuzzy	23
Figura 04	Exemplo de aplicação da lógica fuzzy	24
Figura 05	Conjunto “fuzzy” do tipo 2, representado bidimensionalmente	25
Figura 06	Conjunto “fuzzy” do tipo 2 representado tridimensionalmente	25
Figura 07	A evolução das aplicações da lógica	30
Figura 08	Posicionamento das diversas classes da MC	31
Figura 09	Critérios competitivos da manufatura adotados neste trabalho	36
Figura 10	Competência da manufatura flexível para com o consumidor	37
Figura 11	Tempo de espera disponível nas sete estações (região amarela)	40
Figura 12	Estrutura dos tempos do processo conforme o REFA	42
Figura 13	Classificação dos tempos	43
Figura 14	Esquema das condições e das consequências do trabalho	45
Figura 15	Demonstrativo do rendimento na jornada de trabalho	46
Figura 16	ARENA - modelo elementar de simulação de eventos discretos	53
Figura 17	ARENA - “process” é demonstrado a organização do modulo	54
Figura 18	Estrutura de um sistema de simulação	56
Figura 19	Fluxograma do Trabalho	61
Figura 20	Procedimentos das pesquisas realizadas	66
Figura 21	Rendimento segundo a percepção dos gestores	66
Figura 22	Formulário de pesquisa para avaliação do rendimento	67
Figura 23	Rendimento segundo a percepção dos montadores	68
Figura 24-	Rendimento segundo o comportamento dos tempos de montagem	69
Figura 25	Piramide de Acidentes de Frank Bird	70
Figura 26	Piramide de Acidentes de Du Pont Neymors	71
Figura 27	Curva de acidentes na montagem	72
Figura 28	Comparação entre os comportamentos dos rendimentos	73
Figura 29	Resumo das pesquisas de rendimentos	74
Figura 30	Comparação entre as correlações das pesquisas de rendimentos	75
Figura 31	Definição do conjunto universal	76

Figura 32	Lógica da 1ª regra, elaborado pelo autor no aplicativo Excel	78
Figura 33	Tempos dos produtos PK2, PK7, VN8, VN8, VN9, PK7, PK3	78
Figura 34	Tempo de montagem carregada com os produtos referência	79
Figura 35	Pertinências - as funções demonstram as variáveis linguísticas entre as faixas de tempo, com característica de função triangular.	80
Figura 36	A distribuição da pertinência para cada período de tempo de montagem durante a jornada de trabalho	83
Figura 37	Regra 2 Função pertinência.	83
Figura 38	Procedimento da União das regras	85
Figura 39	Lógica e sintaxe do modelo de simulação	88
Figura 40	Simulação com ARENA® demonstra o comportamento da produtividade obtido no modelo	89
Figura 41	Fluxograma do controle da linha de montagem	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Llinhas de montagem no setor automobilístico nacional	16
Tabela 02	Abrangência e diversidades de aplicações da lógica “fuzzy”	27
Tabela 03	Aplicações com Lógica “fuzzy” do tipo 2	28
Tabela 04	Definir do tempo complementar para a recuperação do montador	41
Tabela 05	Comparação entre os procedimentos	50
Tabela 06	ARENA <sup>®</sup> - blocos lógicos para a simulação na manufatura	54
Tabela 07	Características geométricas e dimensionais dos eixos	58
Tabela 08	Tempo de montagem por família de eixos	59
Tabela 09	Comparação entre cálculos e recursos atuais	62
Tabela 10	Comparação entre cálculos de validação dos tempos e recursos atuais	64
Tabela 11	Faixas de variação dos tempos da regra 1	80
Tabela 12	Faixas de variação dos tempos da regra 2	82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

- STP* - Sistema Toyota de Produção
- FOU - Marcas da incertesea da lógica “fuzzy” do tipo 2 – “*footprint of uncertainty*”
- MC - Manufatura Customizada
- TE - Tempo de montagem total [min]
- TG - Tempo básico para uma atividade [min]
- TT - Soma dos tempos influenciáveis e não influenciáveis [min]
- TW - Tempo de espera [min]
- TTB - Tempos influenciáveis pelo montador [min]
- TTU - Tempos não influenciáveis pelo montador [min]
- TER - Tempo de recuperação de fadiga [min]
- TP - Tempo adicionais a capacidade humana [min]
- TS - Tempo de interrupção do trabalho diante do processo [min]
- CP - Capacidade instalada de produção na montagem [eixo]
- Kf - K fator, índice de falhas admissível no processo de montagem
- MO - Número de montadores necessários para montagens [homem]
- NE - Número de estações de trabalho necessárias [estações]

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contextualizações do Problema	15
1.2	Objetivo e justificativas	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
1.2.3	Justificativa	18
1.2.4	Estrutura do Trabalho:	18
1.2.5	Revisão da literatura	19
2.	CONCEITOS	20
2.1	Lógicas “fuzzy”	20
2.1.1	O processo da lógica “fuzzy”	21
2.1.2	A classificação da lógica “fuzzy”	24
2.1.3	Aplicação e abrangência da lógica “fuzzy”	26
2.2	Manufaturas customizadas (MC)	30
2.2.1	Manufatura customizada quanto a forma:	31
2.2.2	Manufatura customizada quanto a aplicação	31
2.2.3	Manufatura customizada quanto à classificação:	32
2.2.4	Pilares da manufatura para as vantagens competitivas	35
2.3	Tempos de processo na montagem	38
2.3.1	Classificação dos tempos	39
2.4	Influências do rendimento e da fadiga humana no processo	43
2.4.1	A definição da fadiga na manufatura	43
2.4.2	A classificação da fadiga	46
2.4.3	Dimensionamento da fadiga para o máximo rendimento	48
2.5	Simulações de manufatura	50
2.5.1	Sistemas de produção e a simulação	51
2.5.2	Princípios básicos de simulação	51
2.5.3	Definição de simulação	52
3.	ORGANIZAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO	56
3.1	Linhas de montagem com base em lógica fuzzy	56
3.2.	Descrição da organização do sistema produtivo da linha de montagem	57
4	MÉTODO DE PESQUISA	59

4.1	Classificação e método de Pesquisa	59
4.2	Etapas das pesquisas no macro processo	61
4.3.	Análises dos tempos de processo de montagem	61
4.3.1	Comparação entre os recursos disponíveis atuais e os instalados	62
4.4	Pesquisas do rendimento e fadiga na linha de montagem	65
5.	ESTRUTURAÇÃO DO CONJUNTO DE INFORMAÇÕES “FUZZY”	74
5.1.	Análise e pertinências das regras para o controle fuzzy	75
5.2.	1ª Regra: tempo de montagem - limite momentâneo:	76
5.3.	2ª Regra: flexibilização do tempo de produção em função de rendimento humano	80
5.4	A UNIÃO DAS REGRAS	83
5.5.	Defuzzificação: conversão dos resultados gerados pelas regras	84
6.	SIMULAÇÃO MANUFATURA – MODELO DISCRETO	85
6.1	Modelos de simulação utilizado o ARENA	86
6.2	Resultados obtidos pela simulação	87
6.2.1	Resultados na simulação com a situação atual – Calibração do modelo	87
6.2.2	Resultados na simulação com a aplicação da regra e a regra:	88
7.	DEFINIÇÃO DO CONTROLE DA LINHA DE MONTAGEM	88
8.	RESULTADOS	90
9.	REFERÊNCIAS	91
10.	APENDICES	91
	Apendices A – Comandos Arena	
	Apendices B – Programação do ARENA® para a simulação	
	Apendices C – Banco de dados de acidentes	
	Apendices D – Linhas de montagem no setor automotivo	

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualizações do Problema

As empresas de manufatura demonstram nas recentes décadas uma profunda alteração nos ambientes de sua atuação, bem como nos cenários tecnológicos e econômicos. Neste contexto, adicionado a concorrência global e preços competitivos, as empresas estão deparando com novos desafios, como atender o cliente com rapidez e na necessidade apresentadas. Fatores como estes conduzem as organizações a adaptações e flexibilidade devido às necessidades dos clientes e suas crescentes exigências (DA SILVA; RENTES, 2002).

Devido a este novo ambiente, as empresas têm sido obrigadas a redefinir as estratégias básicas de manufatura, de maneira a se reposicionar no mercado, obtendo uma condição competitiva. (BORENSTEIN; 2004).

Conforme Chase et al, (1995) mencionaram que o tempo de produção de peças sofreu um decréscimo significativo no processo de fabricação devido às linhas de montagens, permitindo produzir larga escala com flexibilidade em volume e de “*mix*” de produção. A eficiência refletiu-se nos preços, tornando produtos industriais mais acessíveis aos consumidores em geral. Nas linhas de montagem iniciaram-se os processos de produção em série. O produto em fabricação é deslocado ao longo das estações de trabalho, elevando-se a eficiência do processo, mantendo a integração dos quatro componentes básicos da fabricação industrial, citados por Teixeira et al (2008 p. 31):

- componentes padronizados;
- movimentos mecanizados;
- equipamentos de precisão;
- processos padronizados para redução de tempo.

Com isso, as linhas de montagem tornaram-se decisivas na indústria. É a principal preocupação dos gestores da produção, pois determinam a eficiência deste processo produtivo. Permitem que cada trabalhador se especialize em uma etapa específica. O tempo necessário para cada operação pode ser antecipadamente estimado e, na linha de montagem, precisamente medido. Buscar sua redução é um dos grandes desafios dos gestores de sistemas industriais organizados na forma da produção em série (TEIXEIRA et al, 2008) é o foco dos investimentos em tecnologia, pois uma visão sinérgica amparada por métodos quantitativos cientificamente comprovados podem garantir a qualidade e a eficiência de todos os processos produtivos

sequentes (CHASE et al, 1995). O cenário da forte competição do mercado globalizado dos últimos anos requer produtos progressivamente melhores com preços reais declinantes.

Esta realidade exige produtos desenvolvidos para aplicações mais específicas, focalizadas nas singularidades dos clientes. Variações no “mix” de produtos em linhas de montagens associadas à diversificação de materiais e de operações na manufatura são os grandes desafios das plantas industriais. Resumindo: esforço total na elevação da produtividade e da qualidade de bens diversificados com preços atrativos.

Diversos setores da indústria de manufatura nacional se esforçam para aperfeiçoar as suas linhas de montagens. Entre eles, destacam-se os setores de veículos automotivos para passageiros, veículos comerciais agrícolas e de carga, agregados do trem de força, fornecedores de conjuntos e autopeças veiculares, a produção de linha branca e de eletrônicos. Demonstraram relevante evolução na aplicação das linhas de montagens no processo de manufatura. Incluem-se também as empresas internacionais ingressantes nestes segmentos no mercado nacional.

A tabela 01 demonstra a relevante aplicação do processo de linhas de montagens instaladas junto aos negócios das empresas nacionais no setor automobilístico, especificamente nos segmentos de automóveis de passeios, veículos comerciais e agrícolas.

Tabela 01 Linhas de montagem no setor automobilístico nacional  
(fonte: Sites oficiais das empresas automobilísticas)

NEGÓCIO	Veículos			Agregados				Soma por Negócio
	Leves & Pesados	Extra-Leves	Chassis	Cabine	Câmbios	Motores	Eixos	
Agregados	**	**	**	**	4	2	5	11
Caminhões	2	10	3	8	3	8	6	40
Automóveis	8	1	0	1	*	1	*	11
Agrícolas	6		**	*	*	*	2	8
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>17</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b><u>70</u></b>

(\*) Quantidade de processo não disponível pelos fabricantes

(\*\*) Instalações inexistentes no processo de fabricação do negocio em questão

Este esforço gerencial deve ser combinado ao notável avanço tecnológico das últimas décadas. O mercado oferece controladores digitais de alto desempenho, com alta confiabilidade e baixa manutenção. A engenharia de software, dentro da tecnologia da informação, oferece sistemas de automação sofisticados, de alto desempenho, com custos cada vez mais acessíveis.

A complexidade dos algoritmos de controle fica embutida no software, transparentes ao usuário, simplificando a implantação de novos sistemas com o objetivo de trazer vantagens competitivas aos processos produtivos industriais.

Controladores inteligentes “fuzzy” (ou lógica “nebulosa”), ou aplicações “neuro-fuzzy” (redes neurais combinadas com lógica nebulosa) são cada vez mais populares. Permitem fácil agregação das técnicas de IA (Inteligência Artificial) em sistema de controle industrial, com rápida implantação e obtenção imediata de resultados.

Segundo Bittencourt e Osório (2002), controladores “fuzzy” já são amplamente utilizados em processos de controle autônomos e inteligentes. Por meio de redes industriais operacionais, possibilitam intervir em tempo real nos processos de fabricação. Na abordagem convencional, é inevitável interromper, reconfigurar e reiniciar as operações.

O objetivo deste estudo é estabelecer ganhos através da aplicação da lógica “fuzzy” em um controlador da velocidade de uma linha de montagem de eixos para veículos comerciais tratores.

## 1.2 OBJETIVO E JUSTIFICATIVAS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Definir uma sistemática de controle para a velocidade do motor de uma linha de montagem de eixos dianteiros para a aplicação em veículos agrícola.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Este trabalho tem seus objetivos específicos definidos em função do objetivo geral e da característica do procedimento para controlar a velocidade do motor de uma linha de montagem de eixos:

Aplicar da lógica “fuzzy” como sistemática de controle para uma linha de montagem de eixos dianteiros de veículos agrícolas com tracionamento por meio de um motor elétrico;

Revisar e contextualizar o estado da arte do problema de balanceamento de linha de montagem

Estabelecer os elementos característicos e metodologia para justificar melhorias de produtividade na linha de montagem.

### 1.2.3 Justificativa

Este estudo se respalda na observação de que, embora exista farta literatura a respeito da lógica "fuzzy", há ainda espaço para a realização de estudos sobre o tema associando a fundamentação teórica com os resultados alcançados.

A fundamentação teórica em conjunto com o modelo do controle com a lógica "fuzzy" permite que se possa ter a compreensão do controle do motor da linha de montagem eixos dianteiros de veículos agrícolas para obtenção da excelência na manufatura.

### 1.2.4 Estrutura do Trabalho:

Este trabalho segue a seguinte estrutura:

No capítulo 2 apresentam-se os conceitos para a fundamentação para a lógica "fuzzy", para a estrutura e organização do tempo de trabalho e dos fatores influenciadores do rendimento humano

No capítulo 3 descreve o sistema de produção estudado, e as características dos produtos da linha de montagem.

No capítulo 4 está contida a abordagem do método de pesquisa, classificação e as etapas das pesquisas do rendimento dos montadores.

No capítulo 5 modela-se do controle da velocidade do motor da linha de montagem por meio da lógica "fuzzy".

No capítulo 6 se valida o modelo desenvolvido através de simulação da manufatura de elementos discretos.

No capítulo 7 está contido o controle do motor da linha de montagem.

No capítulo 8 apresentam-se os resultados e recomendações formuladas conforme a verificação dos objetivos.

A figura 1 ilustra o macro plano de trabalho para o tema em estudo através das atividades previstas nos capítulos.

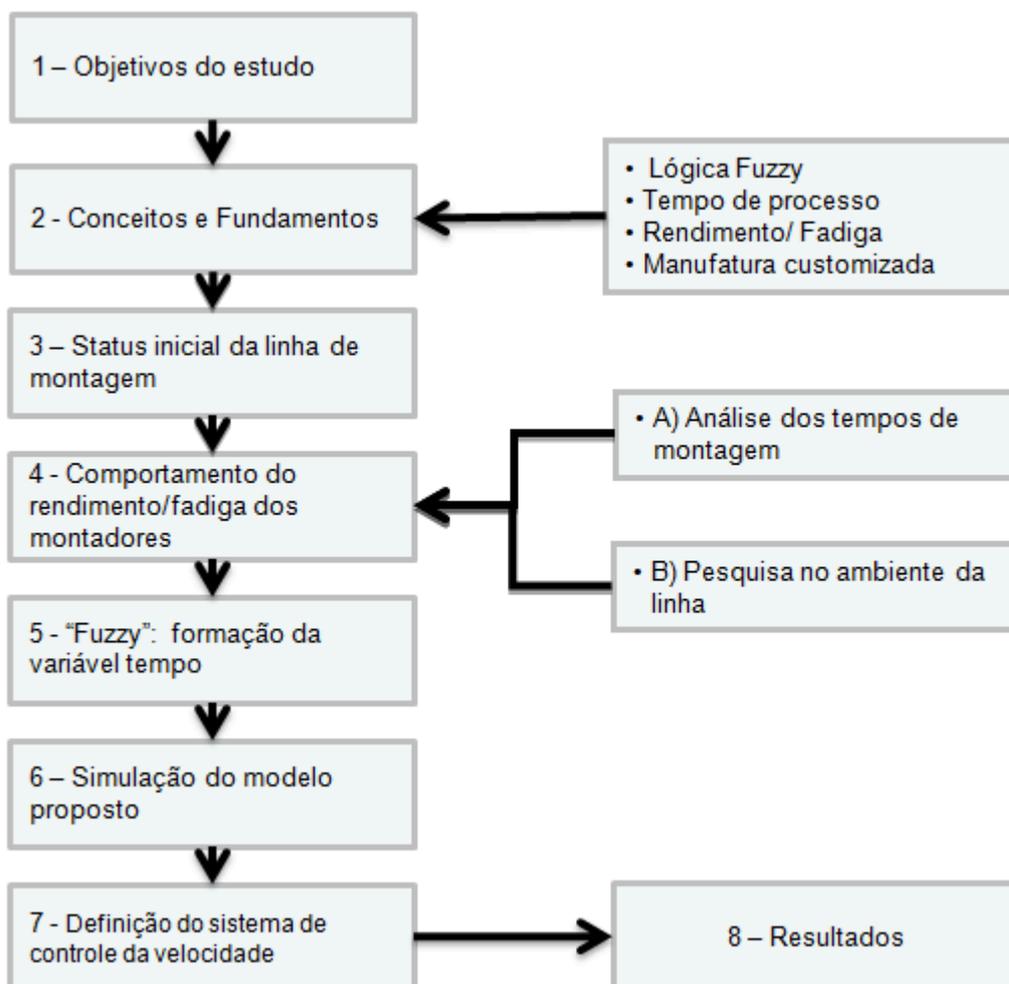


Figura 01 Macro plano de trabalho do estudo

### 1.2.5 Revisão da literatura

Este tópico tem como objetivo demonstrar uma revisão bibliográfica sobre os temas envolvidos nesta dissertação. Primeiramente foi abordado a revisão bibliográfica da Lógica "Fuzzy", revisando as etapas desta aplicação, as vantagens e riscos da aplicação e as características e procedimentos. Nesta revisão foi reconhecido dois tipos de lógica "Fuzzy 1" e a lógica " "fuzzy" 2" e suas aplicações, bem como o estado da arte desta tecnologia, baseado em exemplares de Bart Kosko, Shaw, Ian S., Simões, Marcelo Godoy e Karnik e Mendel.

Em seguida foi efetuada a revisão bibliográfica do tema: Manufatura competitiva e Customizada, o conceito básico, a classificação dos tipos de manufaturas, a importância da flexibilidade e os requerimentos para os modelos de produção baseado em exemplares de Borenstein, J, Ojeda, L., Nigel Slack.

Outros dois pontos foram revisados: o rendimento dos trabalhadores durante as atividades de montagem e a formação do tempo de processo na produção, especificamente em processo de montagens, baseado em exemplares como: Hudson de Araújo Couto e Iida, Itiro.

Estes dois temas estão relacionados entre si uma vez que estabelecem o tempo para a formação da velocidade do motor da linha de montagem, baseado na bibliografia do REFA, Associação para o estudo do trabalho e a organização empresarial.

A revisão final foi a focada na Simulação de Manufatura Discreta seus conceitos, recursos e modelos de resultados baseado nos conceitos nas bibliografias de Gordon, Pritsker e ARENA<sup>®</sup> - Rockwell.

## **2 CONCEITOS**

Este capítulo tem como objetivo declarar os conceitos necessários para os conhecimentos requeridos neste estudo: 2.1 Lógica “fuzzy”; 2.2 Manufatura customizada; 2.3 Tempo de processo; 2.4 Rendimento dos trabalhadores; 2.5 Simulação discreta de manufatura

### **2.1 Lógicas “fuzzy”**

No controle de tempo em linhas de montagem, a lógica “fuzzy” é uma das ferramentas utilizável. Surgiu baseada na Teoria de Conjuntos “Fuzzy”, em 1965. Foi a primeira vez que termo lógica “fuzzy” foi usado, em publicação de Zadeh nos Estados Unidos (MALUTTA, 2004).

Considera-se a lógica “fuzzy” como uma forma de raciocínio que busca quantificar determinadas realidades ou situações incertas ou vagas. O objetivo é oferecer variáveis compatíveis com tratamento numérico executável nos computadores digitais (SHAW, 2010).

Por trabalhar com aproximações de dados vagos, é considerada imprecisa (STURM, 2005). Dados coletados “incertos” são analisados de acordo com regras pré-definidas, recebendo ponderação numérica (STURM, 2005).

Pode-se reconhecer que a lógica “fuzzy” diferencia entre a lógica booleana significativamente. Se a lógica booleana restringe em apenas duas alternativas validas como, por

exemplo: “certo” e o “errado”, os valores “um” ou o valor “zero”, o “branco” e o “preto”. Por sua vez a lógica “fuzzy” apresenta valores com uma amplitude maior, onde é reconhecido um universo amplo, sem restrições para a quantidade de condições como, por exemplo: os infinitos valores compreendidos entre “um” ou o valor “zero”, as muitas cores existentes entre os o “branco” e o “branco”. Logicamente que, existem aplicações dedicadas para os diferentes tipos de lógicas e estas diferenças são reconhecidas para as aplicações específicas.

Através da lógica “fuzzy”, é possível descrever gradualmente um determinado fato de forma mais detalhada, descrevendo melhor realidades “difusas” (MALUTTA, 2004).

Estes motivos tornaram a lógica “fuzzy” uma eficiente ferramenta para modelar problemas complexos. Aplica-se nas mais diversas áreas das atividades humanas, do desenvolvimento industrial às ciências ambientais, até mesmo em negócios e finanças (MALUTTA, 2004).

O raciocínio da lógica “fuzzy” busca o meio termo. Seja o seguinte exemplo:

“Segure uma maçã em suas mãos”. Isso é uma maçã? Sim. O objeto em sua mão pertence á um determinado tempo-espaço, designado por conjunto de maçãs: todas as maçãs sempre em qualquer lugar. Agora morda a maçã, mastigue-a, e engula-a. Deixe seu trato digestivo pegue uma parte das moléculas da maçã. O objeto em suas mãos ainda é uma maçã? Sim ou não? Dê outra mordida. O novo objeto ainda é uma maçã? (KOSKO, 1993, p.4).

Ou seja, a lógica “fuzzy” vai além do “certo” e “errado” de uma teoria essencialmente determinística. Admite a amplitude de variações de processo, com a possibilidade de classificá-lo, ou seja, para um determinado elemento pertencente a um domínio, é quantificado o seu grau de pertinência ao conjunto destes elementos.

### **2.1.1 O processo da lógica “fuzzy”**

Conforme Malutta (2004), entretanto, o raciocínio “fuzzy” é composto por três etapas: a “fuzzificação”, a inferência e a “defuzzificação”, fechando um ciclo que permite a resolver problemas complexos. É uma técnica crescentemente utilizada em sistemas de controle, conforme ilustra a figura 2:

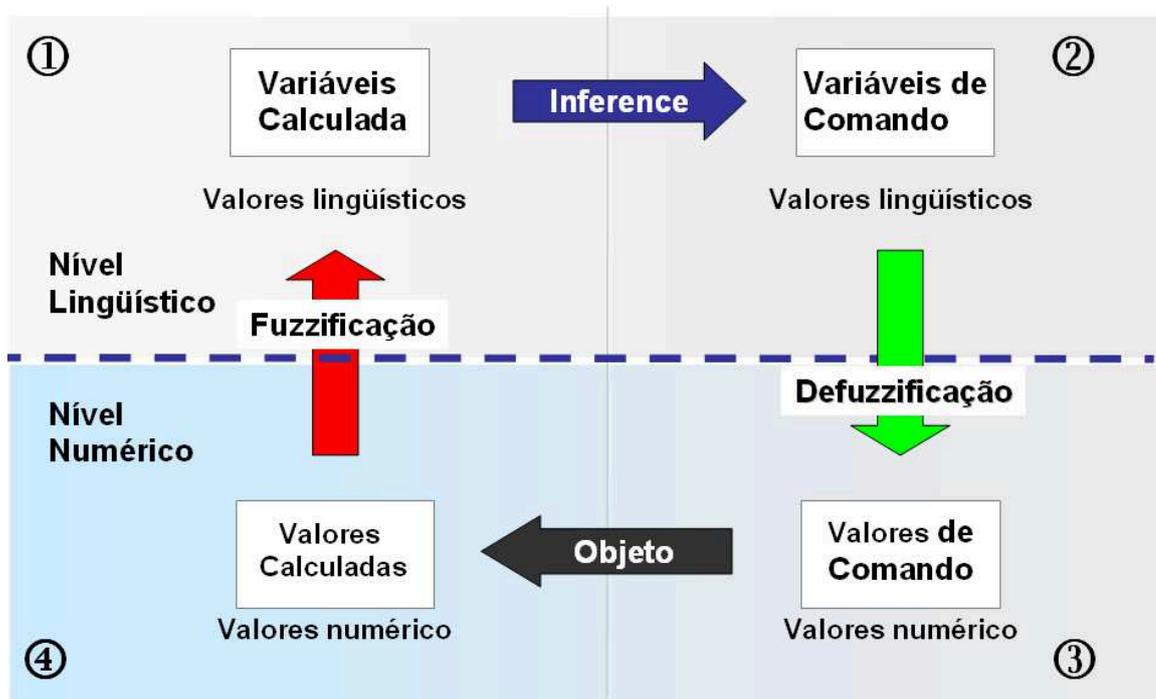


Figura 02 – Etapas na Lógica “fuzzy” Fonte: Junges (2006)

Na “fuzzificação”, as variáveis lingüísticas são definidas de forma subjetiva, bem como as funções pertinência. É a fase da análise do problema: definição das variáveis “fuzzy”; definição das funções de pertinência e a criação de regiões (JUNGES, 2006).

A inferência é a etapa importante do raciocínio “fuzzy”: é feita a tomada de decisão (JUNGES, 2006). Após a “fuzzificação”, onde foram determinados os graus de pertinência de cada conjunto, os dados obtidos são submetidos às regras do tipo Se→Então, mapeando-se novos conjuntos. Seja o exemplo:

Se o homem está “gordo” (antecedente), então tem que “praticar exercícios” (consequente). Como o objetivo é emagrecer, então foi realizada uma inferência para determinar a ação a ser realizado, “praticar exercícios” (MALUTTA, 2004), conforme a relação SE antecedente ENTÃO consequente  $\Rightarrow$  ação

A “desfuzzificação” converte variáveis “fuzzy” em valores numéricos computáveis nos processadores eletrônicos. Nesta etapa, diversas técnicas de “defuzzificação” podem ser usadas, entre elas: média, centróide, “first-of-maxima”, “middle-of-maxima” e critério máximo. A “desfuzzificação” é o inverso da “fuzzificação”: esta transforma dado quantitativo em termo nebuloso, a outra converte dado nebuloso em dado quantitativo (MALUTTA, 2004).

A Lógica “fuzzy” tem por essência gerar valores de saídas sem a necessidade de entradas precisas, conforme mostra a figura 3.

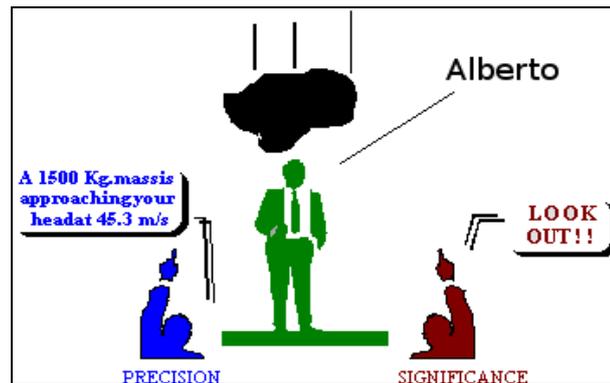


Figura 03 – Exemplo de geração de valores de saída sem a necessidade de entradas precisas em situações de Lógica “fuzzy” Fonte: Junges (2006)

A aplicação da lógica “fuzzy” em um controle de um aparelho de ar condicionado é um exemplo simples para a metodologia. O exemplo proposto possui duas variáveis de controle: a temperatura e a umidade do ar. Logicamente que, outras variáveis de controle poderiam ser aplicadas, como a velocidade do ar, variáveis temporais, condições humanas, entre outras.

Exemplificando as etapas da lógica “fuzzy” para o controle do ar condicionado tem-se itens seguintes:

- 1) Fuzzyficação: foram definidas as variáveis linguísticas: temperatura e umidade de ar, de forma subjetiva, através de referências dos usuários deste aparelho, bem como, as funções pertinência nas condições de faixas: alta, média e baixa, conforme ilustrado na figura 04.
- 2) Inferência : foram determinados os graus de pertinência de cada conjunto, os dados são submetidos às regras do tipo Se→Então, formando um amplo conjunto de condições para os ajustes do controle. O exemplo descreve a condição de temperatura “média”, com pertinência de 0,9, associada a umidade do ar “alta”, com pertinência de 0,4, nesta situação o ajuste reconhecido pela condição Se-Então é mediano.
- 3) Defuzzyficação: Nesta etapa a condição definida pela inferência “média” é transformada de um dado nebuloso em um dado quantitativo, para permitir o interfacimento com o sistema de controle físico, neste exemplo o ajuste é realizado para a temperatura de 22°C.

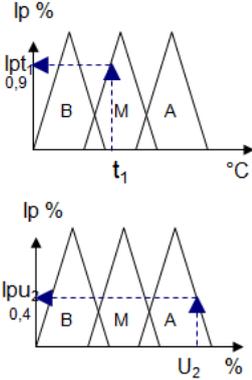
① FUZZYFICAR	③ INFERÊNCIA	④ DESFUZZYFICAR																																									
<p><u>Temperatura °C</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Alta (A)</li> <li>•Média (M) ✓</li> <li>•Baixa (B)</li> </ul> <p><u>Umidade %</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Alta (A) ✓</li> <li>•Média (M)</li> <li>•Baixa (B)</li> </ul>		<p>SE</p> <p>Ipt<sub>1</sub> = Média Ipu<sub>2</sub> = Alta</p> <p>ENTÃO</p> <p>Ajuste ⇒ Frio (*)</p> <p><u>Ajuste:</u></p> <table border="0"> <tr> <td>Temp.</td> <td>Umidade</td> <td>=&gt;</td> <td>Ajuste</td> </tr> <tr> <td>0,9 Alta</td> <td>. 0,8Alta</td> <td>=</td> <td>Frio</td> </tr> <tr> <td>0,6 Alta</td> <td>. 0,6 Média</td> <td>=</td> <td>Frio</td> </tr> <tr> <td>0,3 Alta</td> <td>. 0,3Baixa</td> <td>=</td> <td>Média</td> </tr> <tr> <td><b>0,9 Média</b></td> <td><b>. 0,4Alta</b></td> <td>=</td> <td><b>Média</b></td> </tr> <tr> <td>0,6 Média</td> <td>. 0,3 Média</td> <td>=</td> <td>Média</td> </tr> <tr> <td>0,5 Média</td> <td>. 0,2Baixa</td> <td>=</td> <td>Média</td> </tr> <tr> <td>0,4 Baixa</td> <td>. 0,1 Alta</td> <td>=</td> <td>Média</td> </tr> <tr> <td>0,9 Baixa</td> <td>. 0,9Média</td> <td>=</td> <td>Calor</td> </tr> <tr> <td>0,6 Baixa</td> <td>. 0,4Baixa</td> <td>=</td> <td>Calor</td> </tr> </table>	Temp.	Umidade	=>	Ajuste	0,9 Alta	. 0,8Alta	=	Frio	0,6 Alta	. 0,6 Média	=	Frio	0,3 Alta	. 0,3Baixa	=	Média	<b>0,9 Média</b>	<b>. 0,4Alta</b>	=	<b>Média</b>	0,6 Média	. 0,3 Média	=	Média	0,5 Média	. 0,2Baixa	=	Média	0,4 Baixa	. 0,1 Alta	=	Média	0,9 Baixa	. 0,9Média	=	Calor	0,6 Baixa	. 0,4Baixa	=	Calor	<p><u>Ajuste da Temperatura</u></p> <p>Associar variável</p> <p>Frio ⇒ 20°C</p> <p><b>Média</b> ⇒ <b>22°C</b></p> <p>Calor ⇒ 24°C</p>
Temp.	Umidade	=>	Ajuste																																								
0,9 Alta	. 0,8Alta	=	Frio																																								
0,6 Alta	. 0,6 Média	=	Frio																																								
0,3 Alta	. 0,3Baixa	=	Média																																								
<b>0,9 Média</b>	<b>. 0,4Alta</b>	=	<b>Média</b>																																								
0,6 Média	. 0,3 Média	=	Média																																								
0,5 Média	. 0,2Baixa	=	Média																																								
0,4 Baixa	. 0,1 Alta	=	Média																																								
0,9 Baixa	. 0,9Média	=	Calor																																								
0,6 Baixa	. 0,4Baixa	=	Calor																																								
<p>Na "fuzzyficação", as variáveis lingüísticas são definidas de forma subjetiva (qualitativa ou quantitativa)</p>	<p>Na função "pertinência" são definidas de forma subjetiva (quantitativa)</p>	<p>A Inferência é a etapa de tomada de decisão, feita através das regras do tipo Se → Então, definido os novos conjuntos</p>	<p>Transformar o dado nebuloso em dado quantitativo, ao contrário da "fuzzyficação", através de uma correlação .</p>																																								

Figura 04– Exemplo de aplicação da lógica fuzzy

### 2.1.2 A classificação da lógica “fuzzy”

Lógica “fuzzy” possui basicamente dois tipos. A lógica “fuzzy” tipo 1, onde é consolidado o processo, em uma forma mais ampla, das etapas: Fuzzyficação; Pertinência e da Desfuzzyficação. O segundo tipo, a lógica “fuzzy” tipo 2, consegue complementar os problemas que a lógica “fuzzy” do tipo 1, tradicional, não consegue resolver satisfatoriamente. Os dois tipos são elaborados a partir de dados obtidos por pesquisas com especialista humano.

A lógica “fuzzy” do tipo 2, de forma dedicadamente trata apenas dos desvios associados aos conjuntos fuzzy, o que não é contemplado na lógica “fuzzy” do tipo 1, viabilizando, o tratamento de termos de baixa precisão em toda sua extensão, inclusive na definição das funções de pertinência (Mendel, 2001).

Os principais elementos da lógica “fuzzy” são os conjuntos “fuzzy”. Conjuntos “fuzzy” do tipo 2 são conjuntos “fuzzy” complementares, cujos graus de pertinência são conjuntos “fuzzy” do tipo 1 e não um único valor ou uma nova função de pertinência (Karnik et al, 1999). Estes conjuntos são amplamente utilizados em condições de incerteza a respeito dos graus de pertinência, incerteza do formato das funções de pertinência ou incerteza em alguns dos parâmetros das funções de pertinência (Karnik e Mendel, 1998). Um meio de representar conjuntos “fuzzy” do tipo 2 é através da forma geométrica da sua função de pertinência.

A representação da lógica “fuzzy” tipo 1 esta ilustrada nas figuras 5 e 6 , representados com dois conjuntos “fuzzy” diferentes do tipo 2. O primeiro é representado por uma gaussiana em

duas dimensões, a área desfocada próxima à linha da função representa a incerteza dos limites do conjunto, esta área é denominada “*footprint of uncertainty*” (FOU). Na Figura 6 há o recurso da terceira dimensão para possibilitar a representação da incerteza (eixo vertical), a área escura representa o FOU.

Grau de Pertinência

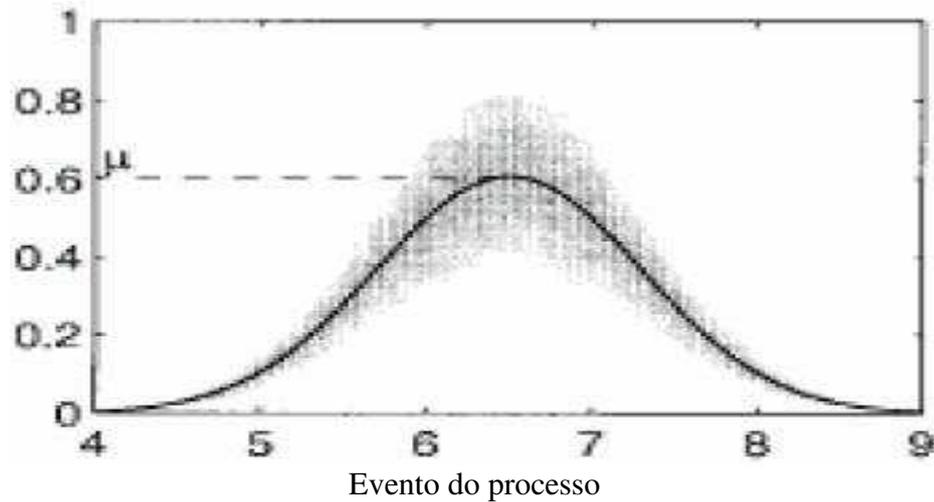


Figura 05 Conjunto “fuzzy” do tipo 2, representado bidimensionalmente. Fonte: Karnik et al (1999).

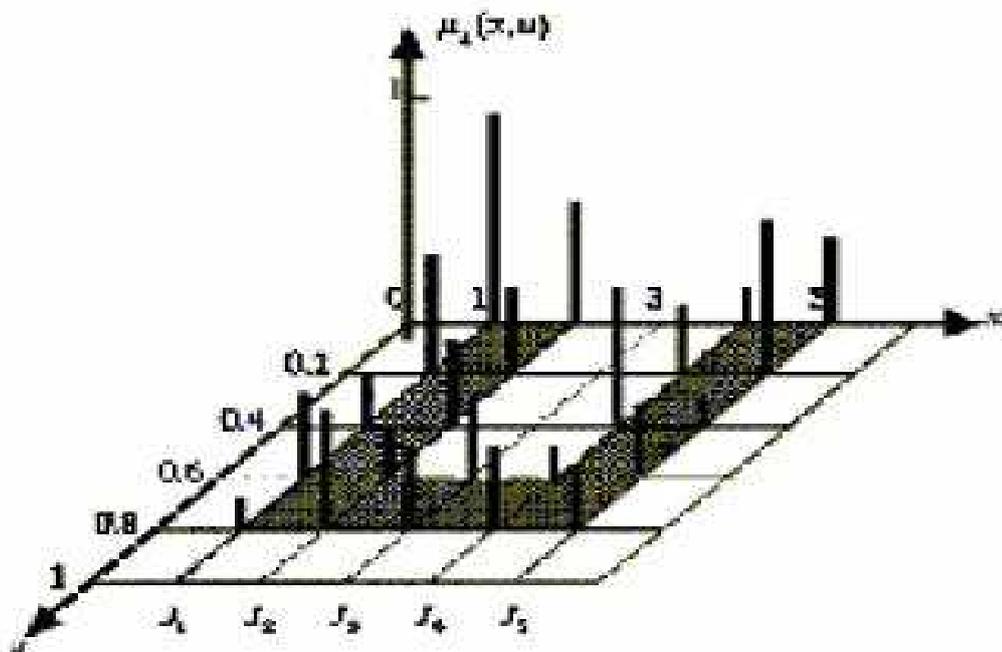


Figura 06. Conjunto “fuzzy” do tipo 2 representado tridimensionalmente. Fonte: Mendel e John (2002).

O controle pela Lógica “fuzzy” apresenta as seguintes características:

- Robusta porque não requer entradas precisas.
- Modificada facilmente, pois é baseada em regras.
- Controle de sistemas não-lineares sem modelo matemático.
- Solução mais rápida e barata em alguns casos.
- Implementável facilmente em microprocessadores.

Conforme Cohagura, várias aplicações da lógica “fuzzy” executam funções de controle, configuração, ajuste e combinação de variáveis. Os benefícios são a economia de energia e melhor controle na configuração dos equipamentos. Esta tecnologia pode ser aplicada em muitas áreas para os mais variados propósitos.

A conclusão é que a modelagem “fuzzy” pode acrescentar inúmeras vantagens em relação às técnicas tradicionais. Na implementação de sistemas de controle ou nas tomadas de decisão, facilita o desenvolvimento das soluções por sua notável aproximação ao raciocínio humano.

### **2.1.3 Aplicação e abrangência da lógica “fuzzy”**

A modelagem “fuzzy” incorpora a facilidade de descrever ou classificar detalhes de forma gradual, permitindo uma melhor aproximação da realidade constituída por sistemas complexos de muitas variáveis com valores ambíguos e inexatos (COHAGURA, 2007), estes fatores foram relevantes para o incremento da aplicação desta nas empresas com produtos e serviços.

A tabela 02 seguinte demonstra a abrangência e diversidades das aplicações da lógica “fuzzy” em diversos de setores de negócios, além da aplicação de controladores de processo industriais:

Tabela 02 - Abrangência e diversidades de aplicações da lógica “fuzzy”

Produto	Empresas / Autores	Função da lógica fuzzy
Controle de navegação	Isuzu, Nissan, Mitsubishi	Baseado na velocidade e aceleração do carro é ajustado o controle da velocidade.
Lavador de pratos	Matsushita	Ajusta o ciclo de lavagem, o enxague e estratégias de lavagem (números de pratos e grau de sujidade)
Secador	Matsushita	Converte o tamanho da carga, e o tipo de tecido, e circula o ar quente para secar estrategicamente
Controle do elevador	Fujitec, Mitsubishi Electric, Toshiba	Reduz o tempo de espera dos usuários baseado no tráfego de passageiros.
Omron	Controle de fabricação	Listas de tarefas e estratégias das linhas de montagens.
Sistema de diagnóstico de Golf	Maruman Golf	Escolha do clube de golfe baseada no físico e tacada dos jogadores.
Administração de saúde	Omron	Mais de 500 regras fuzzy e avalia a saúde e o bom estado do empregado.
Umidificador	Casio	Ajusta a umidade contida de acordo com as condições da sala.
Controle de moinho de ferro	Nippon Steel	Combina as entradas de conjuntos de tempo e temperatura.
Controle de forno	Mitsubishi Chemical	Mistura de cimento.
Forno microondas	Hitachi, Sanyo, Sharp, Toshiba	Configura e ajusta a força e a estratégia de cozinhar.
Automóveis	Mitsubishi	Transmissão automática
Imagem e foto	Canon	Mecanismo do foco automático
Imagem e foto	Minolta	Sistema do <i>tracking</i> subjetivo (Maxxuni 7xi)
Eletrônica	Panasonic	Estabilizador eletrônico de imagens
Lava roupas	Sanyo	Gerenciamento e controle de máquina de lavar roupa
Ar condicionado	Mitsubishi, Hitachi e Sharp	Controle térmico e de unidade
Automóveis	NOK/Nissan	Injeção eletrônica do motor
Elevadores	Fujitoc	Movimentação e gestão de rota
Forno do Aço	Nippon Steel	Controle térmico do aço e forno
Controladoria	Gutierrez e Carmona	Utilização da lógica fuzzy para realizar a análise de liquidez
Formação de custo	Korvin, Siegel e Agrawal	Utilização da lógica fuzzy para realizar a alocação de custos e maximizar o lucro
Contabilidade	Friedlob e Schleifer	Utilização da lógica fuzzy no desenvolvimento de um sistema de auditoria de riscos
Credito financeiro	Syau, Hsieh e Lee	Utilização da lógica fuzzy para análise de crédito para instituições bancárias
Auditoria de custos	Beynon, Peel e Tang	Utiliza regras fuzzy para classificar o nível dos custos de auditoria
Planejamento de produto	Bayou	Utiliza modelagem fuzzy para decisão do mix de produtos
Formação de preços	Lee, Tzeng e Wang	Aplicação teórica para modelar preços de opções através de uma análise empírica.

As aplicações nos setores da tecnologia da informação, nos sistemas administrativos e nos setores econômicos tiveram relevante evolução, como por exemplo, na Hitachi, que possui um aplicativo com cerca de cento e cinquenta regras aplicadas em lógica “fuzzy” proporcionando uma rotina para negociar, comprar e vender obrigações (bonds) e mercados futuros. A Yamaichi, também possui uma aplicação na área tecnologia de informação onde são utilizadas algumas centenas de regras para negociar ações.

Dedicadamente, pode-se mencionar que as aplicações da lógica “fuzzy” do tipo 2, estão na identificação de modelos, ou previsão de comportamento, também a partir de informações de especialistas.

Sistemas “fuzzy” do tipo 2 são sistemas “fuzzy” em que pelo menos um dos seus conjuntos “fuzzy” (antecedentes ou consequentes) são conjuntos “fuzzy” do tipo 2 (Karnik et al, 1999). A tabela 03 demonstram algumas aplicações com o desenvolvimento específicos da utilizando a “fuzzy” do tipo 2.

Tabela 03 Aplicações com Lógica “fuzzy” do tipo 2

Item	Desenvolvimento na lógica fuzzy tipo 2	Autor
1	Desenvolveram um projeto para modelar o processo de tomada de decisão de enfermeiras.	John e Lake (2001)
2	Apresentou um sistema para a predição do tempo de sobrevivência de pacientes com mieloma	Qiu (2006)
3	Apresentou a utilização de técnicas de clusterização neuro-fuzzy do tipo 2 na análise e classificação de traumas da tibia.	John et al (2000)
4	Propôs um modelo de sistema especialista para realização de compras via web.	Gu (2005)
5	Criaram um sistema de compras on-line utilizando a tecnologia de data mining fuzzy do tipo 2.	Tang et al (2004)
6	Apresentaram uma arquitetura de hardware baseada nas técnicas de inferência fuzzy do tipo 2	Melgarejo et al (2004)
7	Apresentaram uma arquitetura de hardware baseada nas técnicas de inferência fuzzy do tipo 2	Melgarejo et al (2004)
8	Implementaram um modelo sobre a tecnologia FPGA.	Melgarejo e Peña-Reyes (2004)
9	Aplicaram lógica fuzzy do tipo 2 para navegação de robôs móveis	Coupland (2003) e Hagra (2004) ,
10	Criaram um sistema fuzzy do tipo 2 para análise e estimativa do tempo de sobrevida de redes de	Shu e Liang (2004)
11	Expuseram resultados preliminares de um sistema de classificação de veículos terrestres através de suas emissões acústicas	Wu e Mendel (2003)
12	Apresentaram uma extensão do modelo oculto de Markov.	Zeng e Liu (2004) a
13	Criaram um modelo para previsão de estoque.	Huang e Yu (2005)
14	Apresentou um controlador fuzzy do tipo 2 simplificado adequado para aplicações de tempo real.	Tan (2006)
15	Propuseram um modelo para redução de vibração em materiais utilizados em veículos espaciais.	Homaifar et al (2001)

A aplicação de projetos com base na lógica “fuzzy” demonstra não estarem restrita apenas ao campo da engenharia industrial, dos controladores de processos, mas que também já conquistou aplicação em ambientes diversos, campos críticos como as áreas de controladoria de negócios, contabilidade e a medicina .

Um exemplo pertinente de aplicação em um nível de subjetividade é a área da Saúde e doença onde a lógica “fuzzy” pode contribuir muito com áreas em que é necessário lidar com a subjetividade e o desconhecimento, na saúde e doença são vistos como conceitos opostos e contraditórios pela comunidade médica – a doença é a ausência de saúde e vice-versa. Mas, na abordagem fuzzy, ambos são antes complementares do que contraditórios. Dessa forma, um novo conceito de doença e de saúde pode ser estabelecido, promovendo transformações na maneira de compreender algumas áreas da medicina, por exemplo, a nosologia. (Eduardo Massad, CREMESP 2011)

Para a elaboração de diagnóstico de doenças tem-se o envolvimento de vários níveis de imprecisão associado incerteza. Uma doença específica pode ser manifestada de forma singular em pacientes ou grupos distintos, com diversos graus de severidade. Além disso, uma única doença pode ser identificada por sintomas diferentes; as características pessoais de um indivíduo associado a presença de outras enfermidades pode promover uma alteração completa do padrão sintomático esperado para quaisquer delas. Efeitos com estes estabelecem com frequência a geração de muitas incertezas e imprecisões, afetando a interpretação nos lados dos exames e nos diagnóstico.

Massad (2011) menciona que, “as doenças são geralmente descritas por termos linguísticos intrinsecamente vagos; e muitas são as variáveis qualitativas que dificultam a utilização de métodos quantitativos. Fatores estes que são amplamente controlados pela lógica fuzzy”. (Eduardo Massad, CREMESP 2011)

Na medicina, a incerteza não está restrita a variações aleatórias e pode-se agrupá-la basicamente em duas classes: a ignorância parcial e a variabilidade;

A ignorância parcial, por sua vez, que resulta de desvios na análise, erros sistemáticos de medida devido a imprecisão ou do desconhecimento parcial do processo onde existe subjetividade. A variabilidade é originada na heterogeneidade dos indivíduos que compõem uma dada população. Portanto, ignorância e variabilidade devem ser analisadas por métodos distintos. Com o uso da estatística através da teoria de probabilidades e os conhecimentos advindos das lógicas booleanas pode-se investigar a variabilidade. Contudo, frequentemente, esse método matemático não consegue abordar as condições do problema da subjetividade e da ignorância. Esses últimos podem ser tratados pela lógica fuzzy.

Poucos são as situações em casos, no nosso cotidiano, em que a medicina tem plena certeza sobre os fatos, mesmo porque, faz parte da atividade humana tomar decisões profissionais considerando a parcialidade da verdade existente. Nesta ótica, dificilmente pode-se considerar um indivíduo completamente doente de algumas funções, ou a grande maioria delas, demonstram permanecer perfeitas. Da mesma maneira, poucas vezes pode-se diagnosticá-lo considerando completamente saudável, principalmente aquele indivíduo que habita e convive em grandes centros, quase sempre sintomático com resfriado, gripado, estressado ou mal alimentado. A aplicação da lógica “fuzzy” na área médica vem demonstrando grande potencial para melhorar e desenvolver tanto equipamentos quanto a modelamentos nas pesquisas e nas mais diversas atividades hospitalares.

Segundo Cox, a situação da lógica “fuzzy” hoje é apenas “marginalmente melhor” do fora durante sua própria era das trevas. Segundo ele, atualmente “a lógica “fuzzy” é comumente

colocada sobre a sombra da chama inteligência computacional. Uma diversidade de tópicos relacionados a inteligência artificial e ciência da computação, fluando entre assuntos como desenvolvimento de projetos orientados a objeto e tecnologias e ainda disciplinas tão diversas como redes neurais, algoritmos genéticos, programa evolucionária, teoria da causa e vida artificial”. Ele conclui afirmando que “enquanto seu primos (“redes neurais, algoritmos genéricos) continuam em crescente ascensão a lógica "fuzzy" está atravessando um época difícil. A figura 7 seguinte mostra a situação da atividades da lógica “fuzzy” nas décadas anteriores

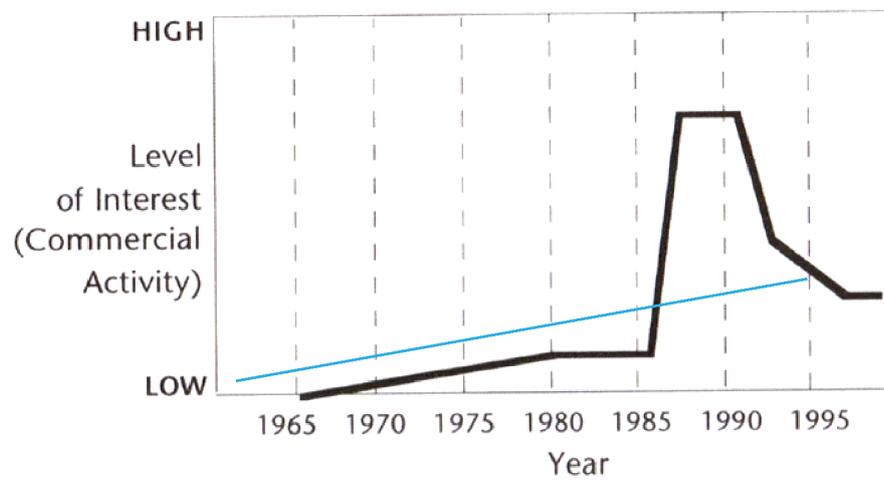


Figura 07 A evolução da aplicações da lógica, fonte Cox

Reconhece-se que, a modelagem “fuzzy” pode acrescentar inúmeras vantagens em relação às técnicas tradicionais. Na implementação de sistemas de controle ou nas tomadas de decisão, facilita o desenvolvimento das soluções por sua notável aproximação ao raciocínio humano (SARAGIOTO,S.R.P.,2012). A modelagem “fuzzy” incorpora a facilidade de descrever ou classificar detalhes de forma gradual, permitindo uma melhor aproximação da realidade constituída por sistemas complexos de muitas variáveis com valores ambíguos e inexatos (COHAGURA, 2007).

## 2.2 Manufaturas customizadas (MC)

Atualmente é demonstrado pelas empresas de manufatura, que a industrialização teve significativas alterações nos ambientes de atuação, bem como nos cenários tecnológicos e econômicos. Neste contexto, adicionado a globalização e a prática de preço competitivos, as empresas estão envoltas com desafios novos, como atender o cliente na necessidade apresentada e na velocidade ideal. Fatores como estes conduzem as organizações a adaptações

e flexibilidade devido as necessidade dos clientes e as crescentes exigências (SILVA; RENTES, 2002).

Devido a este novo ambiente as empresas são obrigadas a redefinir as bases de manufatura, e posicionar-se no ambiente externo, obtendo uma condição estável e competitiva. (BORENSTEIN; 2004). Nesta condição singular, a manufatura de forma customizada tem se mostrado importante alavanca para a produção no cenário nacional. Produtos customizados são denominados por aqueles que atendem uma dada especificidade do cliente, seja na diversidade de produtos e ou nas quantidades desejadas.

A manufatura customizada é um paradigma para as empresas que fornecem produtos e serviços que atendam as exigências e necessidades dos clientes, ao mesmo tempo devem manter a eficiência no sistema produtivo. No ponto de vista econômico a manufatura customizada estabelece uma melhor viabilidade se considerado as necessidades dos clientes e o inventário fixo (JIAO; MA; TSENG. 2001).

#### 2.2.1 Manufatura customizada quanto a forma:

O conceito de MC pode ser orientado através de duas formas: estreita ou ampla. A forma ampla estabelece a personalização dos serviços e produtos para o atendimento ao cliente por meio de um processo ágil, flexível e integrado. Outros autores propuseram conceitos semelhantes, entretanto com uma forma mais estreita e pragmática. Este definem a MC como um sistema que faz uso de uma estrutura organizacional, tecnologia de informação e a flexibilização produtiva de maneira a atender a condição especifica de cada cliente, contudo obtendo o custo operacional semelhante a produção em massa (DA SILVEIRA; BORESTEIN; FOGLIATTO,2001).

#### 2.2.2 Manufatura customizada quanto a aplicação

De acordo com Da Silveira; Borestein e Fogliatto (2001) o desenvolvimento da MC é justificada por três tópicos principais: 1) “*mix*” do produto, 2) volume e 3) ciclo de vida do produto. O “*mix*” do produto diz a respeito a introdução de ferramentas como tecnologia de informação e a flexibilidade da produção que permitem uma grande gama de variação no mix de produção. A influencia do volume na MC é dado através da flexibilidade do volume pela variedade dos produtos, associada a necessidade por parte dos clientes. Finalmente a ultima, o ciclo de vida do produto, enfoca a flexibilidade para a produção e também ao aumento da

competitividade entre as empresas de manufatura, a ausência destes tem gerado a falência de diversas empresas de produção em massa, ressaltando assim a necessidade da geração de uma vantagem competitiva por meio da formação da estratégia de produção focada nos clientes.

A MC tem como característica principal de um serviço ou produto o número de opções de produtos ou serviços disponíveis para escolha e seleção pelo cliente, associado ao volume requerido. O número de opções disponíveis ao cliente e a forma de disponibilidade de opção ao cliente proporciona a característica da aplicação da MC na execução do serviço ou produto. Consequentemente o nível de flexibilidade da modelo da MC junto as organizações são definido através do nível de opção oferecidas ao cliente

### **2.2.3. Manufatura customizada quanto à classificação:**

A classificação da MC é definida através do nível de opcionalidade do produto ou serviço a ser produzido em um processo. Essa é a classificada em configurações de produtos, processos e a forma de relacionamentos com clientes, sendo ordenadas entre os processos de baixa até alta customização com as classes seguintes: Através da padronização pura e segmentada e segundo a customização padronizada, adaptada e pura (LAMPEL; MINTZBERG, 1996):

a) Padronização pura: neste tipo é realizado um projeto único em que uma grande quantidade de exemplares é requerida pelos clientes. A produção em larga quantidade é efetivada, obtendo-se o efeito escala em diversos níveis de produção, fornecimento de materiais e na distribuição do produto, integrando e atingindo os vários níveis da cadeia de produtiva, pode-se exemplificar com a estratégia de produção adotada por Henry Ford no Model T.

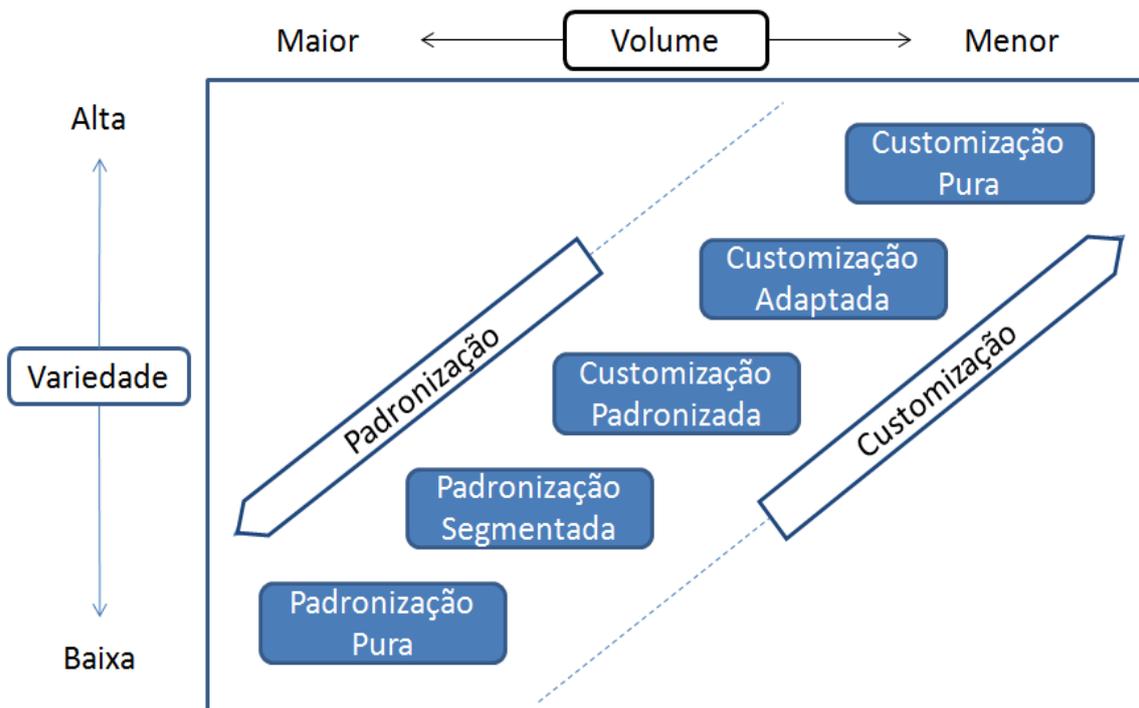
b) Padronização segmentada: esta forma de produção trabalha com uma variedade de produtos ou serviços padronizados. Isto proporciona aos clientes um conjunto de escolha mínimo e assim as empresas organizam-se dentro de uma estrutura de produção ligeiramente flexível para a customização, pode-se exemplificar com o modelo de produção de bens de consumo, como os eletrodomésticos da linha branca: televisores, refrigeradores, máquinas de lavar roupas e outros onde um produto básico é apresentado com mínimas variações.

c) Customização padronizada: nesta forma de produção padronizada é possível o cliente influenciar de forma sutil os produtos durante o processo de produção, seja no processo de aquisição de material, na fabricação do próprio produto e no serviço ou no modelo de distribuição do produto, de modo a alterar a forma ou de configurar o produto a ser consumido pelo cliente. Pode-se citar como exemplo as indústrias de automóvel de passageiros que oportunizam ao cliente definir os acessórios dentro de um modelo de carro básico.

d) Customização adaptada: no modelo de adaptação o cliente requer um produto referência que possa ser customizado as necessidade singulares da aplicação. Permitindo a empresa estabelecer parte do processo comum aos produtos, processo básico associado, e associar a um processo flexível, com liberdade para customização do produto pelo cliente, do tipo Taylor-made, como por exemplo, cita-se a fabricação de ônibus urbanos ou fabricação de brindes promocionais (canetas, tapetes, etc) com o logotipo do cliente.

e) Customização pura: é realizada através da encomenda singular e individual, onde a customização é efetuada através do cliente junto a empresas perfazendo uma situação de máximo atendimento ao cliente pela empresa de serviço ou produto, pode-se citar neste caso produtos que requerem um projeto dedicado, fabricação Taylor-made, montagem e distribuição personalizados, como por exemplo: produção de um navio para cruzeiros ou máquinas operatrizes especiais, onde um projeto diferenciado é requerido pelo cliente ou produto.

A figura 08 ilustra os diversos posicionamentos das diversas classes da Manufatura Customizada em relação a variedade de produtos e o volume de produção praticado pelas organizações.



Categorias da customização localizados na matriz variedade – volume  
 Fonte: elaborado pelo autor

Figura 08 Posicionamento das diversas classes da MC

Variedade de produtos e o volume de produção praticado pelas organizações.

Contudo, a determinação do nível da MC de uma organização não é estabelecido apenas com o nível de customização desejado pelo cliente. Da Silveira; Borestein e Fogliatto (2001) referenciam os fatores internos e externos a organização perfazem um conjunto de direcionadores a ser também considerados na instalação da MC. Estes fatores são classificados como:

- 1) disponibilidade de tecnologia habilitadora;
- 2) compartilhamento de informações e conhecimentos;
- 3) produto desenvolvido apresentar características configuráveis;
- 4) um mercado consumidor com demanda sustentável;
- 5) fornecedores desenvolvidos tecnicamente e capacitado para a customização do produto;
- 6) condições incentivadoras para a comercialização no mercado.

#### 2.2.4 Pilares de manufaturas para as vantagens competitivas

Para que MC seja aplicada em um sistema de produção; são necessárias diversas de tecnologia habilitadoras que venha a viabilizá-la. Entre estas tecnologias pode-se citar que a flexibilidade é a de maior importância.

As vantagens competitivas na manufatura são obtidas quando a empresa obtém um modelo que atende as necessidades de seus clientes em uma qualidade melhor que a de seus concorrentes. Segundo Nigel Slack (1993), as vantagens competitivas na manufatura podem ser classificadas em cinco dimensões:

- a) Vantagem da qualidade: significa fazer certo o produto que atendem as necessidades e expectativas dos clientes e da organização, para tanto manufatura tem de possuir robustez no projeto de produto e controle do processo.
- b) Vantagem da velocidade: significa fazer rápido e estabelecer um baixo tempo de entrega.
- c) Vantagem da confiabilidade: significa fazer pontualmente associado a operações confiáveis nos pilares do processo: material, produto e recurso humano.
- d) Vantagem da flexibilidade: significa alterar, adaptar e mudar o que está sendo feito, seja em novos produtos, na dimensão do “mix” e volume de produção.
- e) Vantagem do custo: significa fazer mais barato obtendo altas margens de contribuição e gerando alta produtividade.

Nigel Slack (1993) ilustra a competência da manufatura e os critérios competitivos da manufatura nos ambientes de uma empresa, associando estes aos respectivos critérios desempenho, conforme ilustrado na figura 9.

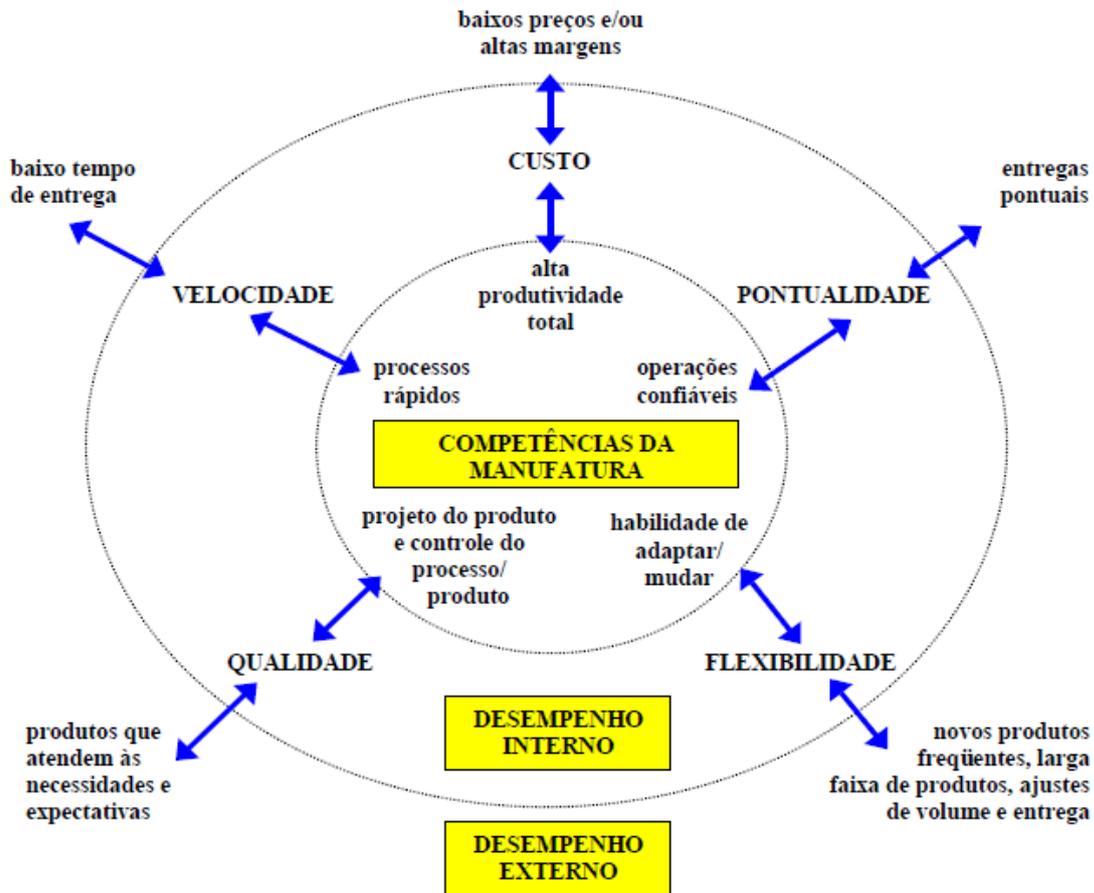


Figura 09 Critérios competitivos da manufatura adotados neste trabalho, fonte Nigel Slack (1993).

Dentre as cinco dimensões relacionadas por Nigel Slack à flexibilidade são a mais requisitada para habilitar os modelos de manufatura com MC. Para que a vantagem da flexibilidade promova uma diferenciação na competitividade da organização como em um todo, esta deve contribuir também para as demais vantagens: velocidade, pontualidade, qualidade e principalmente a reduzir o custo, vantagem do custo. A Figura 2 ilustra os critérios competitivos da manufatura adotados neste trabalho.

A flexibilidade é uma dimensão competitiva de grande relevância para as organizações, uma vez que ela pode responder as mudanças nos ambientes envolvidos pela organização, seja associado ao ciclo de vida dos produtos, “mix” e demanda dos produtos customizados. A flexibilidade pode gerar o custo realizado com os produtos padronizados, conforme a necessidade e exigência dos consumidores.

Segundo Upton (1995) a flexibilidade em uma empresa pode ser realizada estritamente em no ambiente interno, utilizando as habilidades tecnológicas instaladas no sistema produtivos e as competências, e no ambiente externo através da visão restritas dos consumidores, a

capacidade oferecida. Desta forma, os sistemas flexíveis que somente focam a criação de habilidades não obtêm a plena geração de competência não consegue atender a total satisfação do cliente. A satisfação é ampliada no momento em que a organização estabelece as competências requeridas, seja a flexibilidade de produto, volume e “mix” pelos clientes (ZHANG; VONDEREMBSE; LIM, 2003), vide ilustração na figura 10.

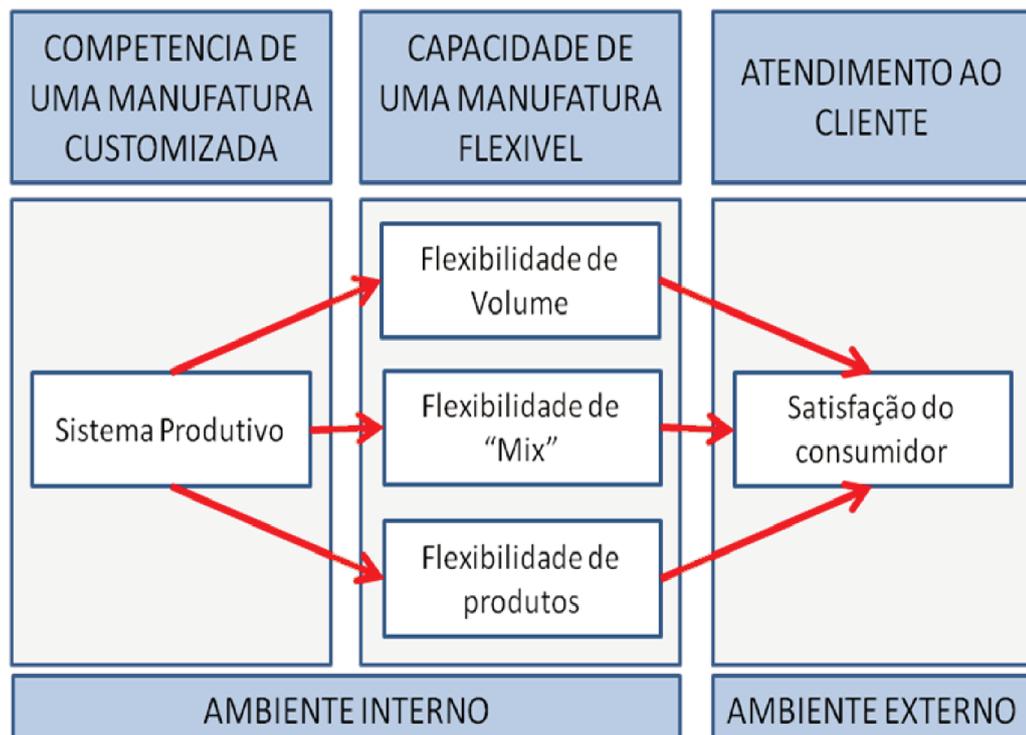


Figura 10 Competência da manufatura flexível para com o consumidor

Fonte: adaptado de Zhang; Vonderembse e Lim (2003)

Zang e Vonderembse e Lim (2003) destacam que para obter as vantagens competitivas da MC e a satisfação dos consumidores, os gestores devem planejar e gerir a flexibilidade da manufatura na forma de vantagens de capacidade e competências de apoio.

Desta forma, é reconhecido que a estabilidade econômica, presente e futura, nas organizações estão direcionados com o sistema flexível de produção, técnicas de manufatura e as habilidades intensivas para a produção de produtos customizados, fortemente aplicados em linha de montagens (GERWIN, 1993). A flexibilidade é um robusto recurso para a redução do custo de produtos customizados, a ampliação do incremento das ofertas de produtos diferenciados e a produção de produtos de tecnologia a nichos de mercado.

Neste cenário, a otimização da flexibilidade (*mix*, volume e produto) e a redução do custo, dimensões das vantagens competitivas, surgem como um fator significativo na

competitividade e o atendimento ao cliente. A aplicação de um controle robusto, como a lógica “fuzzy” para o tempo de produção da montagem, é uma ferramenta apropriada para a colaboração na quantificação, controle e ampliação dos benefícios de um modelo da MC.

### **2.3 Tempos de processo na montagem**

O propósito deste tópico é obter um melhor entendimento da organização dos tempos de produção, especificamente do processo de montagem, de maneira a poder analisar as operações de montagem na linha e assim formar a lógica “fuzzy”, as regras para a aplicação do modelo, bem como as possíveis oportunidades de melhoria na produtividade devido o controle da linha através da velocidade da linha de montagem como o motor

O reconhecimento do tempo de processo é importante, devido à grande cobrança neste mundo globalizado, fazendo parte de um pacote requerido pelas empresas, com ênfase às necessidades de racionalização, produtividade e qualidade. As indústrias eficazes e competitivas possuem um bom gerenciamento e controle de seus processos produtivos, refletindo diretamente aos custos, cumprimentos de prazos, segurança e etc. Pois uma das causas de problemas junto a empresas é de ter os vários operários executando a mesma tarefa de forma diferente. Motivos estes que justificam um sistema de padronização dos processos produtivos. (Schumacher, 2000).

De acordo com Slack et.al (2002), a análise de tempo do processo é uma técnica de medida do trabalho para registrar o tempo e o ritmo de trabalho para um conjunto de elementos de uma tarefa dedicada, realizada sob condições especificadas, e para estratificar os dados de forma a obter o tempo necessário para a realização do trabalho com o nível definido de desempenho.

Contudo vale ressaltar que o tempo de processo deve ser registrado a partir de um indivíduo capaz de realizar as atividades, sem este atributo os tempos coletados são meramente referência grosseira para a análise. Segundo Raph Barnes, “o tempo padrão é a duração gasta por uma pessoa qualificada e devidamente treinada trabalhando em ritmo normal, para executar uma tarefa ou operação bem definida...”

Daniel C Amaral (2008), descreve que “um tempo padrão é uma função da quantidade de tempo necessário para desenvolver uma unidade de trabalho: a) usando um método e equipamento dados; b) sob certas condições de trabalho; c) por um trabalhador que possua uma quantidade específica de habilidade no trabalho e uma aptidão específica para o trabalho; e d) trabalhando em uma etapa na qual utilizará, dentro de um período dado de tempo, seu esforço físico máximo e desenvolvendo tal trabalho sem efeitos prejudiciais...”

O REFA, Associação para o estudo do trabalho e a organização empresarial, propõe uma estrutura para os registros dos tempos dedicada por atividades operacionais. Esta estrutura apresenta uma classificação a partir da natureza da atividade, associado ao executante da operação, levando em conta a influência do maquinário e principalmente do ser humano, neste caso o montador e as necessidades biológicas, intelectuais e psíquicas.

### 2.3.1 Classificação dos tempos

Os tempos que estão associados diretamente com a elaboração do produto ou serviço são divididos em três grupos:

a) O tempo de processo influenciável pelo homem (TTB), onde o montador conjuntamente com outros equipamentos e ou ferramentas compõem os recursos necessários para a execução da atividade;

b) O tempo de processo não influenciável pelo homem, onde somente os equipamentos e ou ferramentas definem a duração da atividade (TTU) , ainda que conjuntamente com o montador. O conjunto destas duas atividades, quando realizada sequencialmente é denominado de tempos influenciáveis e não influenciáveis diante do processo (TT);

c) O terceiro grupo é definido pelo tempo de espera (TW), esta parcela é a diferença entre o tempo básico de uma operação (TB) da operação da linha de montagem e o tempo de uma atividade de menor tempo. Este tempo também é considerado como desperdício, em função do reconhecimento da ausência de agregação de valores durante o tempo decorrido. A expressão seguinte declara o conceito apresentado:

$$TG = TT + TW = TTB + TTU + TW \quad (01)$$

Onde:

TG : Tempo básico para uma atividade [min]

TT : Soma dos tempos influenciáveis e não influenciáveis [min]

TW: Tempo de espera [min]

TTB: Tempos influenciáveis [min]

TTU: Tempos não influenciáveis [min]

Em uma análise elementar é reconhecido que quanto maior a diversidade de produtos em uma linha e a amplitude de mix, tanto maior será a probabilidade da ocorrência do TW. Sendo reconhecido que o balaceamento da linha de montagem é um desafio, um intento quando se compara uma alta diversidade de produtos, vide figura 11.

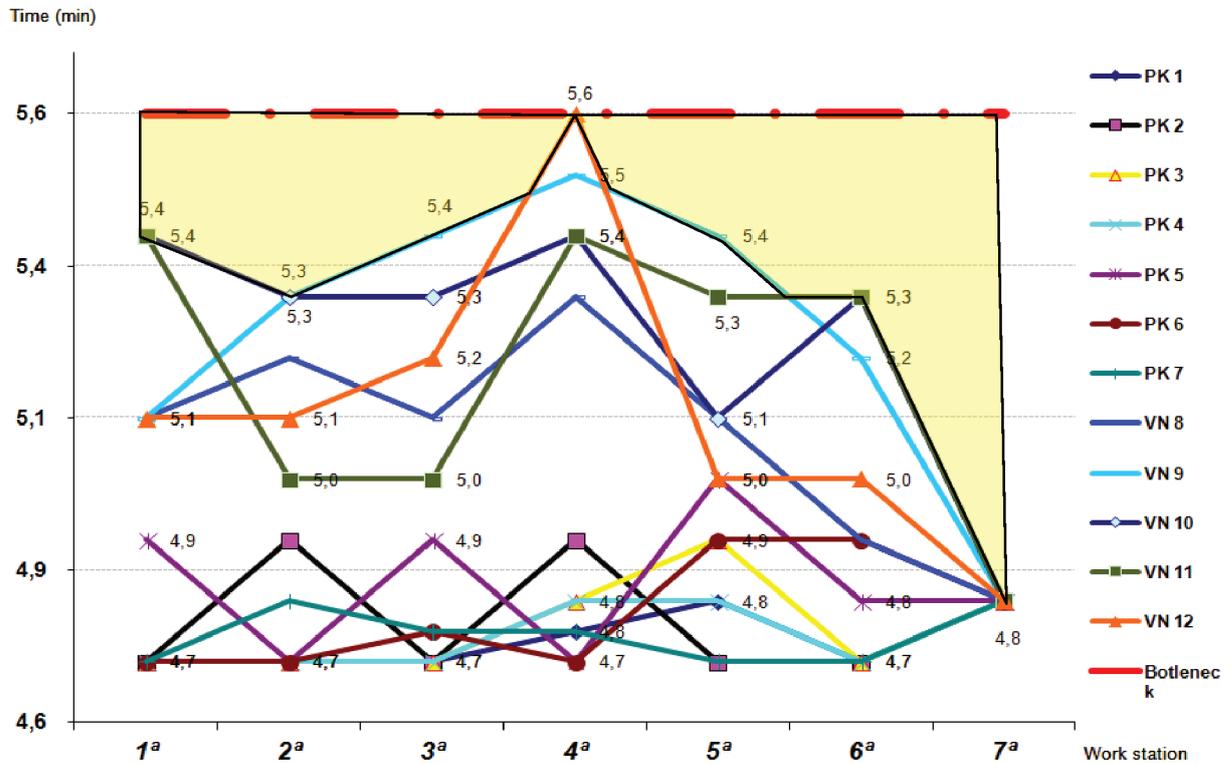


Figura 11 – Tempo de espera disponível nas sete estações (região amarela)

Os tempos complementares são aqueles que adicionam uma fração de tempo em razão dos esforços realizados pelos operadores, como, por exemplo, a perda de energia devido a uma sobrecarga física, biológica ou psíquica durante a atividade.

Para o REFA, a definição da fadiga é a perda do rendimento físico, que é recuperado por descanso suficiente. Distingue-se entre fadiga biológica / física, fadiga de trabalho e fadiga neurosensorial. A fadiga reduz a capacidade funcional e o rendimento de um órgão ou organismos como consequência da solicitação. A fadiga é eliminada por descanso, sendo considerado, tanto a fadiga e o descanso como eventos temporários.

De forma ponderada, para a minimização ou recuperação da fadiga é possível a aplicação do tempo de recuperação (TER), parcela adicional no tempo do ciclo de montagem. O tempo de recuperação é o tempo necessário para limitação parcial ou total da fadiga

mediante o descanso, repouso, sono, o descanso, e ciclo de alimentação (REFA), conforme descrito na tabela 04.

Tabela 04 Definir o tempo complementar para a recuperação do montador,

Fonte Stevenson (2002)

DESCRIÇÃO	%	DESCRIÇÃO	%
<b>A. Tolerâncias invariáveis:</b>		4. Iluminação deficiente:	
1. Tolerâncias para necessidades pessoais	5	a. ligeiramente abaixo do recomendado	0
2. Tolerâncias básicas para fadiga	4	b. bem abaixo do recomendado	2
<b>B. Tolerâncias variáveis:</b>		c. muito inadequada	5
1. Tolerância para ficar em pé	2	5. Condições atmosféricas	0-10
2. Tolerância quanto à postura		(calor e umidade) – variáveis	
a. ligeiramente desajeitada	0	6. Atenção cuidadosa	
b. desajeitada (recurvada)	2	a. trabalho razoavelmente fino	0
c. muito desajeitada (deitada, esticada)	7	b. trabalho fino ou de precisão	2
3. Uso de força ou energia muscular		c. trabalho fino ou de grande precisão	5
(erguer, puxar ou levantar)		7. Nível de ruído:	
Peso levantado em quilos		a. contínuo	0
2,5	0	b. intermitente – volume alto	2
5,0	2	c. intermitente – volume muito alto	5
7,5	2	d. timbre elevado – volume alto	5
10,0	3	8. Estresse mental	
12,5	4	a. processo razoavelmente complexo	1
15,0	5	b. processo complexo, atenção abrangente	4
17,5	7	c. processo muito complexo	8
20,0	9	9. Monotonia:	
22,5	11	a. baixa	0
25,0	13	b. média	1
27,5	17	c. elevada	4
30,0	22	10. Grau de tédio	
		a. um tanto tedioso	0
		b. tedioso	2
		c. muito tedioso	5

Associando-se os fatores de recuperação junto ao tempo influenciado pelos esforços durante a montagem, obtém-se a parcela de tempo de recuperação, conduto que deve ser observado que o tempo de espera (TW) corrobora diretamente para a redução da fadiga, devendo ser reduzido do valor obtido na ponderação, conforme formula seguinte.

$$TER = TT \cdot \text{fator de correção} - TW \quad (02)$$

Onde:

TT: Soma dos tempos influenciáveis e não influenciáveis [min]

TW: Tempo de espera [min]

TER: Tempo de recuperação de fadiga [min]

Estrutura de tempos conforme a organização de acordo o REFA, permite reconhecer o potencial de redução do Tempo de espera (TW) e indiretamente Tempo de recuperação de fadiga (TER).

Outras duas parcelas da estrutura do tempo do REFA são os tempos adicionais a capacidade humana (TP), que suplementam os esforços adicionais aos limites humanos e o tempo de interrupção do trabalho diante do processo (TS/TSP) procedente as atividades de um sub-processo interrelacionado com a atividade da montagem. O figura 12 ilustra a descrição dos tempos mencionados.

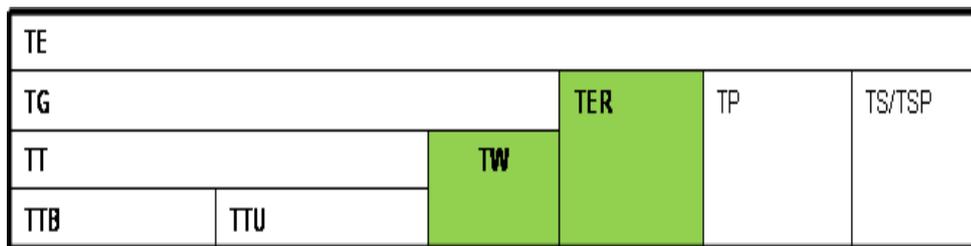


Figura 12 Estrutura dos tempos do processo conforme o REFA

Onde:

TE :Tempo de montagem total [min]

TG: Tempo básico para uma atividade [min]

TT: Soma dos tempos influenciáveis e não influenciáveis [min]

TW: Tempo de espera [min]

TTB: Tempos influenciáveis pelo montador [min]

TTU: Tempos não influenciáveis pelo montador [min]

TER: Tempo de recuperação de fadiga [min]

TP: Tempo adicionais a capacidade humana [min]

TS/TSP: Tempo de interrupção do trabalho diante do processo [min]

Outro aspecto a ser mencionado é que o tempo de recuperação (TER) é compensado com o valor do tempo de espera (TW), a diferença entre estas duas parcelas dos tempos resulta no incremento a ser adicionado no tempo de montagem (TE). A figura 9 ilustra esta condição

associando a classificação dos tempos e a estrutura dos tempos com o nível de detalhamento dos tempos estruturais em variáveis e fixos.

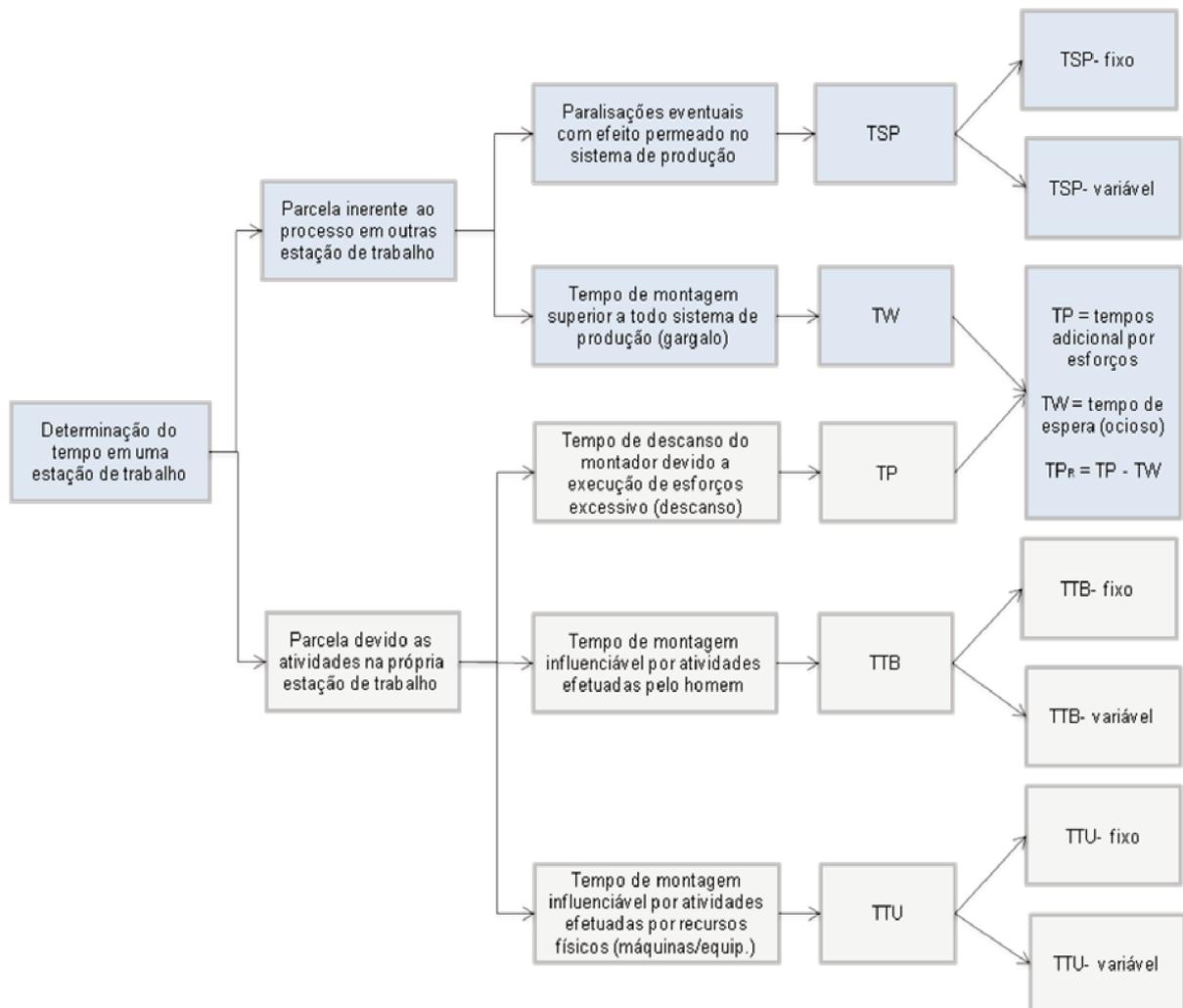


Figura 13 Classificação dos tempos

## 2.4 Influências do rendimento e da fadiga humana no processo

O propósito deste tópico é complementar o entendimento da fadiga dos montadores na linha de montagem e obter uma melhor compreensão das causas e efeitos de maneira a reconhecer as oportunidades de melhorias para os sistema produtivo e assim controlar os efeitos nos montadores.

### 2.4.1 A definição da fadiga na manufatura

Uma definição para a fadiga é, de modo bastante simples, o cansaço obtido pelos montadores durante as atividades no turno de trabalho. A redução de eficiência surge em ocorrência de uma adicional carga que se apresenta em pontos isolados do ser humano, ou distribuindo por todos os organismos do corpo. A manifestação da queda do rendimento humano estabelece uma minimização natural da capacidade do ser humano em função dos organismos impactados (HUDSON, 2005).

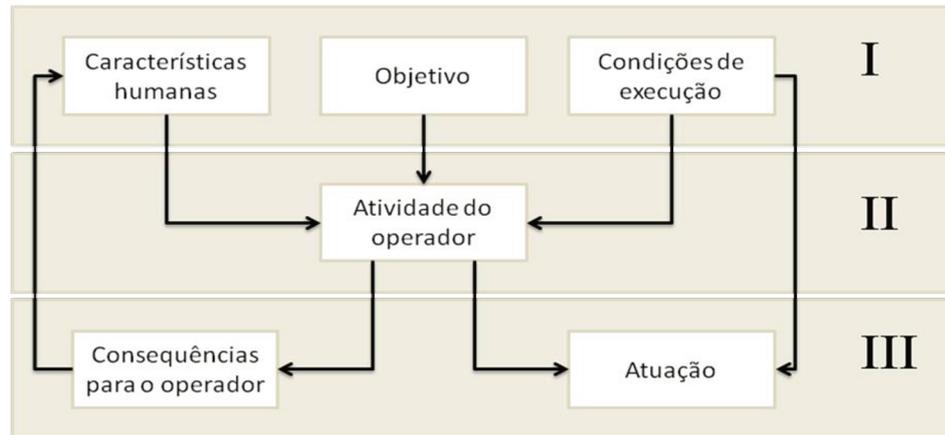
Não existe tarefa que não requeira certa dose de energia por parte do operador, principalmente que o ambiente de produção não possui confortável na grande parte das empresas. O esforço dos músculos, a concentração mental a postura ergonômica, a monotonia de movimentos repetitivos e muitos outros fatores determinam no organismo humano um estado fisiológico particular. Para os fisiologias é o um complexo fenômeno humano. Para as maiorias dos técnicos, a fadiga, é efeito do trabalho sobre o organismo do trabalhador tendo como consequência a redução progressiva de sua capacidade de produção durante um período de trabalho (Marcello Silva, 2008).

SAAD (1981), afirma que é sabido que "o homem que trabalha em ambientes com alterações de temperaturas sofre de fadiga, seu rendimento diminui, ocorrem erros de percepção e raciocínio e aparecem sérias perturbações psicológicas que podem conduzir a esgotamentos e prostrações". Este efeito proporciona um incremento de perda materiais, incidentes e acidentes.

Segundo LEPLAT (1977), o comportamento do montador é definido pelas características singulares do indivíduo (físicas, experiências, intelectuais, personalidade, psíquicas, etc.) e pelas exigências imposta ao montador, ou seja, as atividades e objetivos da operação (montar determinado produto com uma especificação dedicada - maior ou menor) e das condições para a elaboração (recursos técnicos utilizáveis, ambiente local, procedimentos e regras a realizar, etc.), a figura 14 ilustra o conceito.

Leplat menciona que o comportamento do montador estabelece consequências diretas como: carga atividades, fadiga, satisfação, perdas, condições de segurança e saúde dentre outras, que alterando as próprias características, podem demonstrar no comportamento.

Entre a atuação e os objetivos, pode gerar um desvio que se manifesta em uma condição da atividade, alterando a comportamento e desempenho do montador.



I – Nível das condições: de trabalho; II – Nível das atividades; III – Nível dos efeitos da atividade.

Figura 14 - Esquema das condições e das consequências do trabalho. Fonte: Leplat (1977)

A fadiga no ser humano pode ser considerada devido a duração ou exposição a uma excedente sobrecarga ou duradoura da atividade sem reposição suficiente. A reposição pode ser realizada mediante uma condição de relaxamento e ou descanso (RUIZ, s.d.). Conforme Ruiz o tempo de espera associado ao tempo de recuperação propiciam a recuperação do montador permitindo um melhor rendimento.

Na condição, Peroni (1990) apresenta um gráfico baseado em estudos laboratoriais realizados, que demonstra que o rendimento do operário inicia-se no ponto zero atingindo seu ponto culminante em 84% de sua eficiência, correspondente à segunda hora de trabalho. No segundo turno o comportamento do operário apresenta-se com rendimentos inferiores a primeira jornada de trabalho por efeito da fadiga, quando comparado o pico do rendimento verifica-se a redução de 84% para 50%, conforme ilustrado na figura 15. Portanto, os dimensionamentos dos tempos de recuperação maximizam o rendimento durante a jornada de trabalho da equipe. Estes permitem a máxima utilização dos recursos instalados e das tecnologias disponíveis. Logo é entendido que o ambiente de trabalho possui uma importante influência, não somente no comportamento psicológico e físico do ser humano, mas também nos resultados de serviços e ou produtos gerados pelo conjunto dos recursos investidos pela empresa.

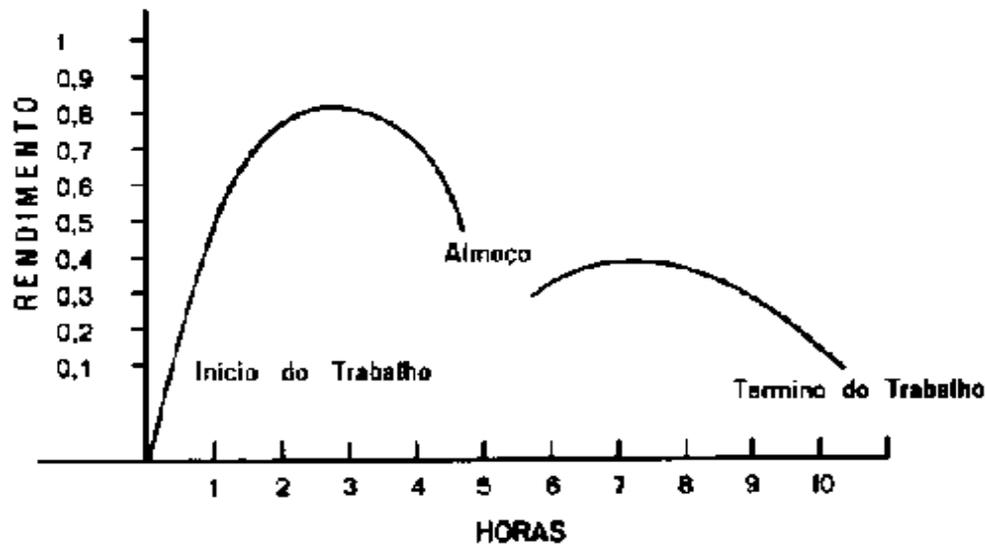


Figura 15 - Demonstrativa do rendimento na jornada de trabalho - Fonte: PERONI (1990)

#### 2.4.2 A classificação da fadiga

Couto (et. al.) menciona a relevância da fadiga nos ambientes de trabalho e classifica esta em basicamente em dois grupos, a saber:

- a) Fadiga orgânica (físico)
- b) Fadiga psíquica (neurosensorial)

Quanto a Fadiga Orgânica ou Física, Couto menciona alguns dos fatores condicionais para o estado básico de fadiga orgânica nos montadores, COUTO (1978) são:

- a) Equilíbrio hidroeletrolítico: alteração decorrente de trabalhado em ambiente em alta temperatura;
- b) Esgotamento muscular: redução das substâncias energéticas musculares adequada para aquela atividade devido ao montador não possuir o aporte alimentar;
- c) Metabolismo aeróbico: acúmulo de ácido láctico, insuficiência respiratória devido a atividades em trabalhos pesados a pesadíssimos ou oxigênio rarefeito, como em atividades confinadas;
- d) Capacidade muscular: esforço físico superior à capacidade muscular.

GRANDJEAN (apud COUTO,1978) afirma que a fadiga simples ou cansaço físico -mental tem sua etiologia na soma dos seguintes fatores:

- a) Monotonia;
- b) Duração e intensidade do trabalho físico e mental;
- c) Ambiente inadequado (térmico ruído ou iluminação);

- d) Conflitos, pré-ocupações e alta responsabilidade;
- e) Dores e ou doenças;
- f) Alimentação inadequada.

Como consequência da fadiga, a pessoa fatigada tende a aceitar menores padrões de precisão e segurança, envolvendo-se mais a riscos e arbitrariedade, estabelecendo assim em possível ocorrência de eventos destas naturezas, IIDA (1990).

Um efeito imediato da fadiga é a simplificação das atividades, eliminando ou reduzindo o que não for essencial. Isso ocorre com “atividades” feitas certas em “tempos” errados ou vice versa, IIDA (1990).

Iida revela dois importantes pontos para a identificação da fadiga, a direta influencia com o rendimento e a real necessidade do dimensionamento da fadiga para a execução da tarefa desejada no processo e ou serviço.

Para a fadiga orgânica, seja para o dimensionamento e prevenção, dá-se através de uma série de medidas segundo (IIDA,1990).

Pausas: que podem ser de frequências ajustadas de duração anuais, semanais, diárias, longas, intercalares , curtíssimas , furtivas, fisiológicas.

- a) Adaptação ao trabalho: As atividades iniciais são fatigantes, contudo, com o decorrer do tempo flui o trabalhador se adapta a este e automatiza os seus movimentos, a fadiga reduz-se substancialmente.
- b) Seleção profissional: Adaptação do operador às condições na estação ou posto de trabalho e bem como o tipo de trabalho.
- c) Ergonomia: racionalização do trabalho com base com o posto de trabalho, operações e as características do trabalhador.
- d) Condições do ambiente de trabalho: Melhoria das condições de iluminação, ventilação e conforto, térmico, ruído, etc.
- e) Alimentação do trabalhador: Deve existir uma reposição da energia gasta quando existir gasto energético significativo durante o trabalho, por meio de alimentação balanceada para as solicitações dos trabalhos.

Quanto a Fadiga psíquica, IIDA (1990) menciona os sintomas de fadiga do tipo psicológica são dispersos e surgem de maneira mais ampla, não localizada no corpo, com um cansaço geral, incremento da irritabilidade, desinteresse ou aumento de alguns estímulo de frio, calor, fome, ou postura incorreta. Ainda a fadiga psicológica está associada de maneira complexa a um conjunto de fatores como relacionamento social, motivação, monotonia, estado geral de saúde

e outros. Com maiores ocorrências onde há predomínio do trabalho "mental" com baixos esforços musculares.

A fadiga psíquica, também chamada de "fadiga nervosa". Após à I Guerra Mundial um grande desenvolvimento industrial se seguiu e a fadiga ocupacional era extremamente frequente, conforme IIDA (1990).

Grandjean (2005) através de uma analogia que compara a fadiga com um tanque de recepção todos os tipos de líquido diferente, representando cargas físicas, restrições ambientais, angústia mental e assim por diante. Antes dos estouros de tanques, é preciso abrir uma válvula de alívio para o deixar alguns "mix fadiga" para fora, antes que a pessoa se torne incapacitado.

### **2.4.3 Dimensionamento da fadiga para o máximo rendimento**

Carayon (1993) e Marcello Silva (2012) referem fadiga ao ambiente de trabalho, que deve ser equilibrada para evitar perdas e desperdícios, bem como acidentes e perdas materiais.

Pelo exposto os métodos de estruturação do tempo de ciclo aplicados em processos, na grande maioria das aplicações, são compostos dos tempos das atividades requidas pelo processo adicionados de parcelas suplementares. Os tempos suplementares possuem vários fatores que influenciam o dimensionamento da carga de trabalho vivenciada pelos trabalhos. Para estes fatores pode-se incluir a natureza do trabalho, aspectos somáticos, adquirida motivação, treinamento, fadiga e influência ambiental. Assim se melhorar as condições de trabalho, desta maneira carga de trabalho tende a reduzir.

Para o dimensionamento da fadiga existem basicamente três procedimentos para formar o tempo de recuperação:

1. Fatores pré-determinados: A inclusão de fatores pré-determinados, descrito na tabela 02, de forma combinada perfazem os efeitos da realidade e do ambiente do posto de trabalho ou serviço. Desta maneira uma parcela do tempo é definida, formando o tempo complementar ou o tempo de recuperação de um homem.

Estes subsídios são adicionados na forma de fatores percentuais, previsto para a conclusão de uma atividade de trabalho determinado (Marcello Silva, 2010).

2. Metodos fisiológico: Estes são métodos científicos mais eficientes, onde os níveis de fadiga são avaliados através da taxa aeróbica mediante o comportamento da taxa de consumo oxigênio pelo ser humano e associado a frequência cardica. Estes definem os

limites humanos de maneira dedicada a atividade. Tal método é eficaz por ser realizado junto a cada estação ou posto de trabalho, revelando as necessidades requeridas para máxima atuação do ser humano. Para este método, (Marcello Silva, 2010), observam que o desempenho do ser humano é limitado a 40% do seu consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2máx}$ ). Logo o uso de folhas de cálculo simples, sem compensações para variações individuais. É uma mera abstração sem qualquer resultado prático. No entanto, em alguns casos o uso de conjuntos de amostras para a população e arbitragem de características físicas de um trabalhador médio, é a única maneira possível de conduzir um experimento envolvendo a capacidade aeróbica, a mediação fadiga ou ciclo de descanso, trabalho no chão de fábrica.

3. Um terceiro método é a investigação amostral, efetuada através de levantamentos estáticos, orientados pelas características do ambiente de trabalho e das atividades nos postos de trabalho, muito similar a aplicação do uso de folhas de cálculos simples e os fatores ponderadores. Esta prática reconhece com uma maior clareza as condições existentes no processo produtivo do que a utilização de fatores pré-definidos.

A tabela 5, resume os procedimentos comparando as vantagens e desvantagens de cada um dos modelos de avaliações da fadiga mencionados neste capítulo. Podendo assim orientar a aplicação no dimensionamento do controle da velocidade da linha de montagem.

Tabela 05 - Comparação entre os procedimentos

Método	Vantagens	Desvantagens
Fatores pré-determinados	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Aplicação simplificada não requerendo alta especialização</li> <li>+ Baixo custo de realização, não requerendo ensaios técnicos</li> <li>+ Tecnologia conhecida e aplicada no mercado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixa precisão nos resultados, devido aos fatores percentuais estabelecidos com a média em outra realidade (alta dispersão).</li> <li>- Ausência no controle de aplicação.</li> <li>- Perdas representativas devido aos desperdícios com o recurso humano</li> </ul>
Fisiologias	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Alta precisão nos resultados devido a realização da pesquisa customizada na população da linha</li> <li>+ Estado da arte da tecnologia</li> <li>+ Maximização dos recursos humanos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coleta de dados complexa devido a investigação individual das necessidades</li> <li>- Alterações no modelo produtivo necessitaram de revisão na avaliação</li> <li>- Tecnologia restrita em um grupo específico</li> <li>- Custo alto para a realização, considerando os custos dos especialistas</li> </ul>
Estatístico / Amostragem	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Aplicação simplificada, requerendo pesquisas e métodos estatísticos</li> <li>+ Baixo custo de realização e atualização, não requerendo recursos</li> <li>+ Tecnologia conhecida e aplicada no mercado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Precisão nos resultados mediana devido a consideração média da realidade.</li> <li>- Coleta considerando o histórico das ocorrências</li> </ul>

A frequente prática para a definição do rendimento, através de fatores pré-determinados, estabelece imprecisão para atender um processo dedicado. Por sua vez o processo de investigação do consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2\text{máx}}$ ) é dedicado e suscetível a baixas alterações quando associado a media dos indivíduos e aos aspectos cíclico da manufatura customizada, contudo com alto custo para aplicação, desconsiderando o custo benefício. Por sua vez uma pesquisa amostral estatística, simulando o realizado por Peroni, atende a realidade deste estudo e os resultados desejados.

## 2.5 Simulações de manufatura

Discreto evento modelagem e simulação é necessária para comparar alternativas em testes de análise e projeto de sistemas de produção na presença de aleatoriedade. Flexibilidade da abordagem de modelagem é importante, especialmente para as comparações de inteligentes políticas de escalonamento.

### **2.5.1 Sistemas de produção e a simulação**

Um ambiente de produção é um sistema que transforma as matérias-primas em algo mais estruturado, agregando valor ao produto. Tal sistema não deve, portanto, ser reduzido apenas a sua parte estrutural que não pode trabalhar por conta própria. Não é possível discorrer de um sistema de produção sem um subsistema de decisão que controla, gerencia os fluxos de informações e supervisiona a parte física. Um sistema de produção possui dois importantes aspectos junto aos fluxos: os materiais e as informações, em ambos o controle dos fluxos tornou-se uma necessidade para empresas que visam melhorar a sua competitividade e a produtividade. Estas melhorias podem ser alcançadas mediante a redução de atrasos ou uma maior flexibilidade do sistema de produção.

Muitos parâmetros podem ter uma influência sobre os fluxos e, portanto, é difícil controlar este sistema. Isto é certamente verdade para o sistema físico (layout da fábrica, número de máquinas, nível de automação, a flexibilidade de cada máquina, quantidade de operadores, estoque, etc), mas também para o sistema de decisão (estratégia de atribuição de recursos, regras de prioridade, a manutenção políticas de qualidade, etc.). No entanto, mais importante do que as decisões, é o reconhecimento e a abrangência destas tomadas de decisões em todos os níveis da empresa. Através de suas escolhas diárias, as pessoas podem ter um efeito direto sobre a produção, mesmo sem perceber. Isto sublinha a necessidade de uma ferramenta de decisão, ajudando com vista a melhorar tecnologia, organização e gestão da produção na empresa.

### **2.5.2 Princípios básicos de simulação**

Uma simulação tem como o primeiro objetivo experimentar novos métodos em um modelo de computador, porque a esta é mais barata e mais rápida do que as experiências reais, e às vezes é simplesmente impossível fazer o mesmo em um processo real. Outra vantagem é a de que um novo método pode ser testado e validado sem perturbar o sistema real. A simulação pode também ser usado para criar modelos de processos inexistentes ao projetar novos sistemas ou redesenhar e reorganização dos já existentes.

Historicamente, a simulação de eventos discretos era uma parte da pesquisa operacional. Utilizou-se a responder perguntas condicionais dos processos (e se ...), a fim de avaliar o desempenho de um sistema. No entanto, ele deve ser mantido em mente que este papel de avaliação de desempenho não garante uma solução ótima. Comumente, a simulação é usada

para comparar soluções sob alguns parâmetros e hipóteses. Cabe ao usuário definir se aleatoriedade tem uma influência ou não sobre o resultado da simulação. Resultados obtidos por simulações são, portanto, apenas observações e uma abordagem estatística e probabilística são necessárias para interpretar estes resultados.

Logicamente que, outros métodos de modelação pode ser aplicados nos sistemas de manufatura. Outros métodos existentes, baseados na teoria de fila ou redes de Petri têm as vantagens de ser analítico, o que significa que eles irão fornecer exata, em vez de aproximar resultados. No entanto, em muitos casos, estes métodos analíticos estão limitados a sistemas simples, onde uma simulação deve ser evitada se possível.

### **2.5.3 Definição de simulação**

Segundo HARRELL et al. (2000), definem a simulação como uma imitação de um sistema real modelado em um computador para avaliação crítica e melhoria do desempenho deste sistema. BANKS (2000) menciona que a simulação envolve a criação de uma história artificial e com base nela são feitas interferências e realizadas observações sobre as características de operação do sistema real. Este procedimento define uma sucessão inter-relações entre a realidade envolvida; a criação lógica e a elaboração do modelo propriamente dito.

A definição para simulação de imitar o comportamento de um sistema dinâmico através do tempo, para resolver um determinado problema, está associada a um modelo de representação simplificada e objetiva, que é criado e validado apenas para este dado problema, porque não é possível criar um modelo de um sistema em todas as suas dimensões devido a complexidade lógica e matemática. Durante a simulação, as observações são apenas estimativas, isto é, resultado só pode ser dado com um definido intervalo de confiança.

A simulação possui uma metodologia científica dedicada, ou seja, define e formula as hipóteses, prepara o experimento, verifica as hipóteses por meio de experimento e valida e calibra as hipóteses através dos resultados obtidos. (HARRELL, 2000) define este processo na simulação a partir de um realidade de manufatura pela rotina seguinte:

1. Formulação de um sistema a partir da realidade
2. Desenvolvimento de um modelo artificial do sistema
3. Teste do modelo artificial, com base na realidade do sistema investigado

4. Avaliação do resultado: Se a avaliação demonstrar um desvio admissível em relação a modelação da realidade o resultado será considerado valido, em outra condição o ciclo será repetindo até a calibração atingir o nível de confiabilidade desejado.

A estrutura seguinte demonstra a organização elementar de um modelo de simulação de eventos discretos no ARENA<sup>®</sup>, este é composto por blocos lógicos ou módulos, que perfazem um procedimento, a figura 16 ilustra este conceito.

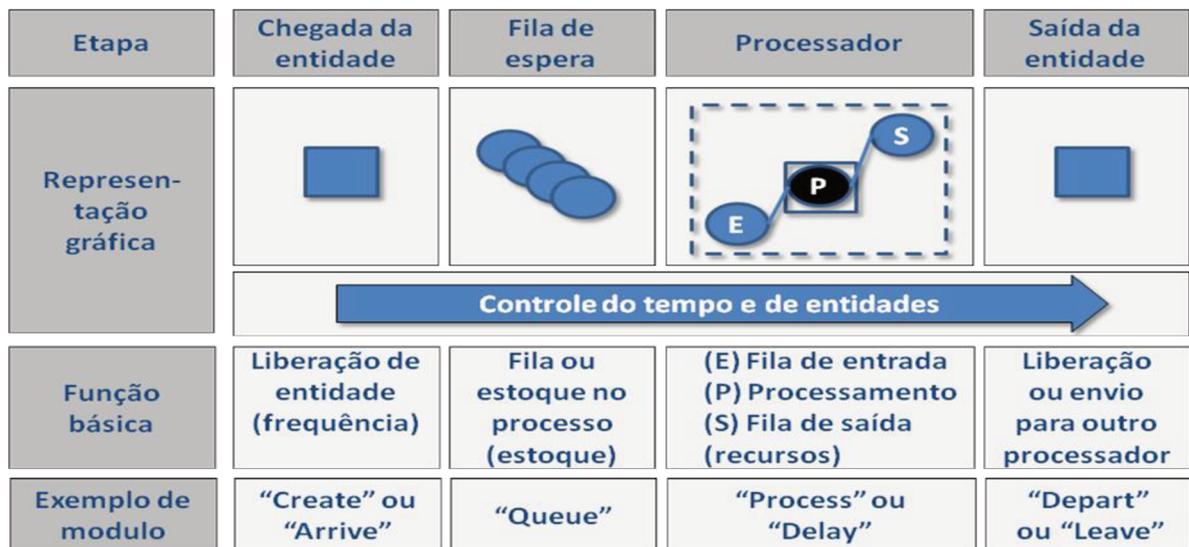


Figura 16 ARENA<sup>®</sup> - modelo elementar de simulação de eventos discretos

Dentro de uma simulação tem uma série de conceitos importantes, ou seja, entidades e declarações de lógica.

1) Entidades: são os elementos tangíveis encontrados no mundo real, por exemplo, para a fabricação destes poderiam ser eixos de veículos, pessoas, máquinas, tratores ou veículos. As entidades podem ser temporárias (por exemplo, partes que passam através do modelo) ou permanentes (por exemplo, máquinas que permanecem no modelo). Os conceitos de temporário e permanente são úteis para auxiliar a compreensão dos objetivos globais do uso de simulação, normalmente para observar o comportamento das entidades temporárias que passam através dos permanentes.

2) As entidades são orientadas por procedimento modulares (modulos lógicos), estes tem na formação: ferramentas estatísticas, teoria de filas e rede de Petri, esta combinação

estabelece recursos para elaboração do sequenciamento e o comportamento dentro do fluxo dentro de cada etapa de modelos de simulação, como por exemplo, o tempo de execução das atividades entre as máquinas ou o fluxo de uma linha de montagem.

A tabela 06 demonstra alguns dos blocos lógicos, com maior utilização nos modelos de manufatura, coloridos para indicam as diferentes aplicações de procedimentos: comandos (cor preta); suporte (cor azul); transferência e logística (cor vermelho).

Tabela 06 - ARENA<sup>®</sup> - blocos lógicos e módulos para a simulação na manufatura

Comandos	Enter	Process	Sequences	AdvServer	Inspect	Server	Depart
	Resource	Simulate	Arrive	Animate	Leave	Sets	
Suporte	Assign	Count	Duplicate	Match	Seize	Chance	Delay
	Batch	Create	Dispose	Split	Release	Choose	
Transferência	Access	Convey	Distance	Conveyor		Transport	
	Segment	Free	Request	Exit		Transporter	

Um exemplo de utilização de um bloco lógico nos modelos e o bloco “*process*”, figura 17. Este atua quando uma entidade chega neste módulo e aguarda até que um recurso ou um transportador especificado esteja livre. Ainda permite a conexão com outras lógicas externas, ou seja, a entidade pode experimentar uma tarefa externa e só então o tempo de processo neste módulo é executado e assim seguir na lógica (gestão da fila).

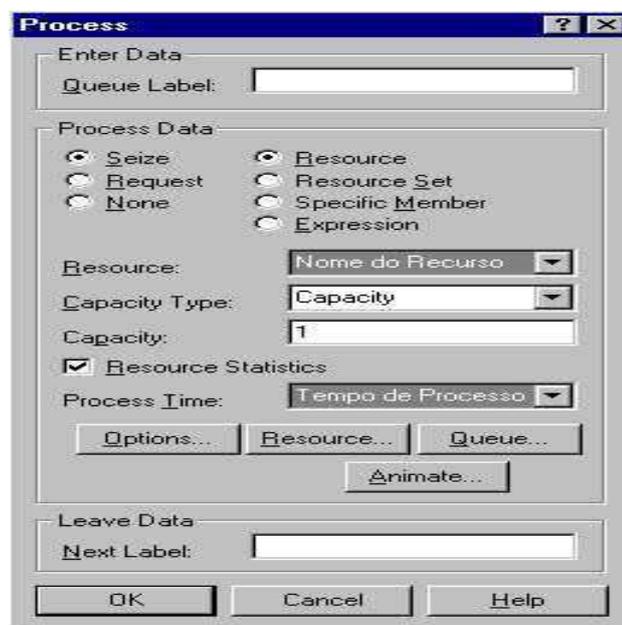


Figura 17 - ARENA<sup>®</sup> - “*process*” é demonstrado a organização do módulo

Legenda:

a) *Queue label*: Opção de definir uma fila de entrada para o produto no recurso, são utilizadas também quando os produtos (entidades) devem ser retidas por uma necessidade do processo, com por exemplo: um pulmão de produção.

b) *Process Data*

a. *Seize / Request / None*: Verifica se o recurso está livre para que a entidade possa ocupá-lo. Se o recurso estiver ocupado a entidade aguarda em uma fila definida pelo módulo “*seize*”. O que determina se um recurso está ocupado ou não é a sua capacidade e quanto desta está ocupada. A capacidade é definida no módulo “*resource*”. O comando “*seize*” também está presente dentro de módulos de alto nível como o “*server*” e “*Advanced server*”.

b. *Ressouce Statistics / Process time*: É um dos módulos chave do ARENA<sup>®</sup>, sendo efetivamente quem realiza o processo na entidade. Define as características de um recurso. Este módulo não precisa ser adicionado se optar pelas características padrões do recurso, ou se o recurso estiver dentro de um módulo de alto nível (*Server*). Este módulo anexa uma animação de recurso ao modelo, conferindo diferentes figuras para os diversos tipos de estados que os recursos podem assumir (ocioso, ocupado, etc.). Também neste módulo pode-se atribuir paradas por quebra, manutenção, almoço, baseados em contagem de entidades que por ali passaram ou por fatores estatísticos.

c) *Leave data*: Neste módulo a entidade sai da estação para outro módulo ou estação. Pode ser utilizado para requisitar a um elemento de transporte como uma esteira, um recurso ou um transportador para deslocar a entidade para a próxima estação.

Os demais módulos utilizado no software ARENA<sup>®</sup> são apresentados no apêndice 1.

3) Relações lógicas vinculam as diferentes entidades, por exemplo, uma entidade máquina processará uma entidade peça. As relações lógicas são partes fundamentais do modelo de simulação e definem o comportamento global do modelo. Cada instrução lógica (por exemplo, "começar a máquina se as peças estão à espera") é simples, mas a quantidade e variedade das entidades são abrangentes por todo o modelo, estabelecendo assim uma ampla complexidade.

4) Outra peça-chave de qualquer sistema de simulação é o executivo de simulação (motor). O executivo é responsável por controlar o avanço do tempo. Um relógio central é utilizado para manter a noção do tempo em todo modelo. O executivo irá controlar as relações lógicas entre as entidades e avançar o relógio para o novo tempo.

O processo é ilustrado na Figura 18. O executivo na simulação é fundamental para proporcionar a dinâmica, o comportamento baseado no tempo do modelo. Enquanto o relógio e executivo são peças-chave de um sistema de simulação.

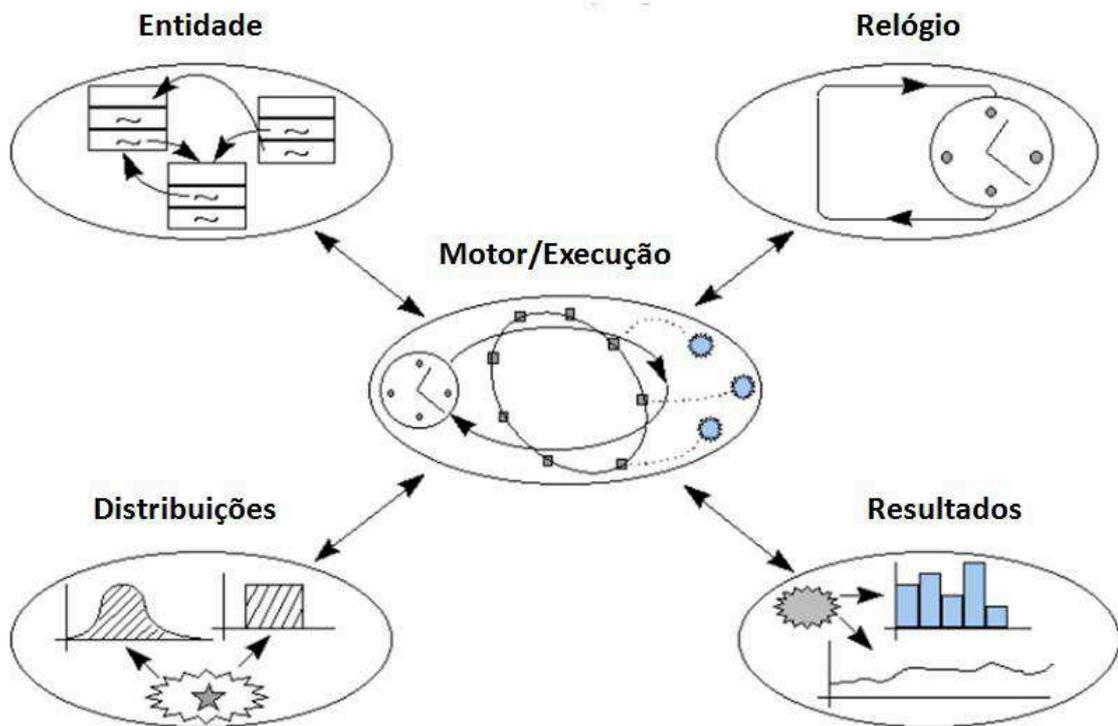


Figura 18 Estrutura de um sistema de simulação – fonte Kreutzer, 1986

### 3. ORGANIZAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO

#### 3.1 Linhas de montagem com base em lógica fuzzy

Conforme Cohagura (2007) existem várias aplicações da lógica “fuzzy” que executam a função de controle, configuração, ajuste, e combinações de variáveis. E os grandes benefícios da maioria dos produtos apresentados são da economia de energia, e melhor controle e configuração dos equipamentos. Esta tecnologia pode ser aplicada em muitas áreas para os mais variados propósitos.

Tanto que se chegou a conclusão de que a modelagem “fuzzy” pode acrescentar inúmeras vantagens em relação as modelagens tradicionais e quando da implementação de sistemas de controle, ou de tomadas de decisão, essa modelagem facilita no desenvolvimento uma aproximação do raciocínio humano através da utilização de variáveis e valores “fuzzy” (COHAGURA, 2007).

Isso porque a modelagem fuzzy, possui a facilidade de descrever ou classificar detalhes de forma gradual, permite uma aproximação muito maior da realidade, que é marcada por ser um sistema complexo de muitas variáveis e valores ambíguos e inexatos (JAMSHIDI, 2007).

Por essa razão, os tópicos a seguir, destacam os passos de implementação da Lógica Fuzzy, orientados para a aplicação na linha de montagem.

### **3.2. Descrição da organização do sistema produtivo da linha de montagem**

O sistema de produção adotado foi uma linha de montagem de eixos para tratores leves industriais e pequenos colheitadeiras que atende o mercado nacional e exportação, com alto valor de agregação de qualidade no produto, que perfaz um inventário de alto valor. Possui uma elevada diversificação operacional com amplo *mix* de tipos, devido a sazonalidade global e a aplicação em segmentos diferentes. O sistema logístico de entregas e sequenciamento de produção são inflexíveis a alterações, não permitindo a formação de lotes para produção para compensações e redução de perdas no balanceamento. Esta condição de diversidade dos tipos de produtos corroborou idealmente para a aplicação da lógica fuzzy, para a inserção de técnicas avançadas de automação, para formar um recurso tecnológico robusto. Estabelecendo um fator para a formação de uma vantagem competitiva, essencial a sobrevivência de empresas de médio porte junto a economia globalizada.

Os eixos montados na linha de montagem demonstram através das características da aplicação, da geometria e do dimensional a existência de um processo produtivo com o fator significativo de customização. A fim de entender as características dos eixos a tabela 07 descreve os doze produtos montados na linha de montagem.

Tabela 07 Características de aplicação, geométricas e dimensionais dos eixos

Família do eixo	PK 1	PK 2	PK 3	PK 4	PK 5	PK 6	PK 7	VN 8	VN 9	VN 10	VN 11	VN 12
Segmento de aplicação	Extra Leve	Extra Leve	Extra Leve	Leve	Leve	Leve	Semi Leve	Semi Leve	Semi Leve	Semi Leve	Leve	Leve
Capacidade em peso (kg)	3.2	2.5	3.2	5.0	6.5	6.5	7.5	7.1	7.1	7.0	4.3	6.0
Ângulo da direção (graus)	52°	52°	52°	48°	7°48'50"	44°	52°	44°50'	44°	52°	44°	44°
Tipo de freio *	D	D/H	D/H	T	T	D	D	T	D	T	T	T
Distância entre rodas (mm)	2,142	1,777	1,777	2,112	2,269	2,114	2,374	2,314	2,203	2,176	2,062	2,202
Distância entre as vigas do chassi (mm)	1	1	1	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	1,11	1,025	1,025
Distância entre articulações (mm)	1,69	1,58	1,58	1,71	1,611	1,71	1,84	1,992	1,75	1,71	1,77	1,77
Diâmetro da roda (polegadas)	17.5 "	17.5 "	17.5 "	22.5 "	22.5 "	22.5 "	22.5 "	22.5 "	22.5 "	22.5 "	22.5 "	22.5 "
Fixação da roda	6xM18	6xM18	6xM18	10xM22	10xM22	10xM22	10xM22	10xM22	10xM22	10xM22	10xM22	10xM22
Peso (kg)	180	160	200	390	370	390	385	410	430	420	620	650

(\*) D = Disco com acionamento mecânico ; D/H = Disco com acionamento hidráulico; T = Tambor

A linha de montagem é operada por sete homens, possui sete estações de trabalho com quatro metros de comprimento para a montagem de doze famílias de eixos, com o tempo gargalo de 5,6 min. Ao redor da linha de montagem existem unidades de pré-montagens que suprem as sete estações de montagens.

Um fator relevante para o dimensionamento da mão de obra é que a empresa possui uma deficiência admissível que varia na faixa de 15% até 30%. Este efeito ocorre em relação a fatores administrativos, técnicos e a sequência de produtos na linha. Contudo a empresa reconhece que no mínimo 15% do tempo perdido tem origem na diversidade do mix de produção. Neste valor não estão inclusos as parcelas referente a eficiência da mão-de-obra e os fatores adicionais de rendimento/fadiga e outros fatores técnicos.

A empresa tem os tempos das estações de trabalho definidos pelo gargalo entre as estações de montagem, devido o produto VN12 na 4ª estação de montagem., conforme descrito na tabela 8

Tabela 08 Tempo de montagem por família de eixos

Família de eixos	Estações de montagem							Volume (mil/year)	Mix %
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª		
PK 1	4,7	4,7	4,7	4,8	4,8	4,7	4,8	4,90	8%
PK 2	4,7	4,9	4,7	4,9	4,7	4,7	4,8	3,00	5%
PK 3	4,7	4,7	4,7	4,8	4,9	4,7	4,8	9,60	15%
PK 4	4,7	4,7	4,7	4,8	4,8	4,7	4,8	7,50	12%
PK 5	4,9	4,7	4,9	4,7	5,0	4,8	4,8	5,40	8%
PK 6	4,7	4,7	4,8	4,7	4,9	4,9	4,8	6,30	10%
PK 7	4,7	4,8	4,8	4,8	4,7	4,7	4,8	6,30	10%
VN 8	5,1	5,2	5,1	5,3	5,1	4,9	4,8	3,00	5%
VN 9	5,1	5,3	5,4	5,5	5,4	5,2	4,8	4,40	7%
VN 10	5,4	5,3	5,3	5,4	5,1	5,3	4,8	6,50	10%
VN 11	5,4	5,0	5,0	5,4	5,3	5,3	4,8	2,40	4%
VN 12	5,1	5,1	5,2	5,6	5,0	5,0	4,8	5,10	8%
<b>gargalo</b>	<b>5,4</b>	<b>5,3</b>	<b>5,4</b>	<b>5,6</b>	<b>5,4</b>	<b>5,3</b>	<b>4,8</b>	<b>64,4</b>	<b>100%</b>

A tabela 08 demonstra a variedade e características da linha de montagem em função dos tempos, que associado a diversidade de volume e mix caracterizam como um modelo de customização padronizada, uma vez que neste forma de produção a empresa tem influenciado a flexibilidade dos produtos durante o processo de montagem

## 4 MÉTODO DE PESQUISA

### 4.1 Classificação e método de Pesquisa

Segundo Miguel (2007), uma pesquisa tem como macro-objetivos as seguintes considerações:

Conseguir uma nova compreensão sobre o fenômeno e ou familiarizar com ele;

Apresentar informações referente uma dada entidade, grupo ou situação,;

Identificar com que frequência algo ocorre ou como se interliga a outros fenômenos ou aspectos;

Verificar como a hipótese de relação causal interage entre as possíveis variáveis.

O procedimento com que o pesquisador interage com o meio observado para a coleta, investigação e detecção dos fatos problemáticos ou ainda para a formulação de hipóteses e a proposição de soluções, bem como, a aquisição e processamento dos dados, necessita ser orientado por técnicas específicas e métodos que se ajustem à realidade investigada e na natureza da pesquisa.

Para a definição os diversos tipos de pesquisas são considerados, entre outros fatores: as várias finalidades da pesquisa, aspectos da amostra, fatores envolvidos, características de população a ser observada. Para obter uma coleta de informações realmente valida no processo de pesquisa (GIL, 1991) et al descrevem os tipos de pesquisas seguintes:

Pesquisas exploratórias: têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos, com vistas à formulação de problemas ou hipóteses pesquisáveis.

Pesquisas descritivas: as pesquisas deste tipo têm como objetivo a descrição das características de determinada população ou fenômeno, ou o estabelecimento de relações entre variáveis GIL (1991);

Pesquisas explicativas: são pesquisas que têm como preocupação identificar fatores que determinam a ocorrência de fenômenos GIL (1991);

Pesquisa descritiva: pesquisa de opinião ou pesquisa de atitude, pesquisa de motivação, estudo de caso, análise do trabalho, e pesquisas documentais. Aqui, o pesquisador procura conhecer e interpretar a realidade. Interessa-se em descobrir e observar fenômenos – procura descrevê-los, classificá-los e interpretá-los. Os dados obtidos - qualitativos ou quantitativos - devem ser analisados e interpretados. Dentre as pesquisas descritivas salientam-se as que têm por objetivo estudar as características de um grupo: opiniões, atitudes, procedimentos, etc. GIL (1991);

Pesquisa experimental - o pesquisador manipula deliberadamente algum aspecto da realidade - dentro de condições predefinidas. Pretende-se dizer de que modo, ou por que causas, o fenômeno se produz. A pesquisa experimental verifica a relação de causalidade entre variáveis. A inferência é diretamente feita sobre a realidade GIL (1991).

Segundo MORAES (1998), dos tipos de pesquisas aplicáveis em ergonomia e fatores associados às condições de trabalho as pesquisas descritivas e a experimental são amplamente aplicáveis.

Concordando com GIL (1991), e adotando como referência as descrições teóricas de MORAES (1998), define a pesquisa como sendo do tipo descritivo para este estudo.

## 4.2 Etapas das pesquisas no macro processo

Fizeram-se as pesquisas considerando as necessidades requeridas pelos dados e pelos objetivos. A figura 19 ilustra no macro processo a presença das pesquisas nos processo 2 e processo 3, tarjados em azul.

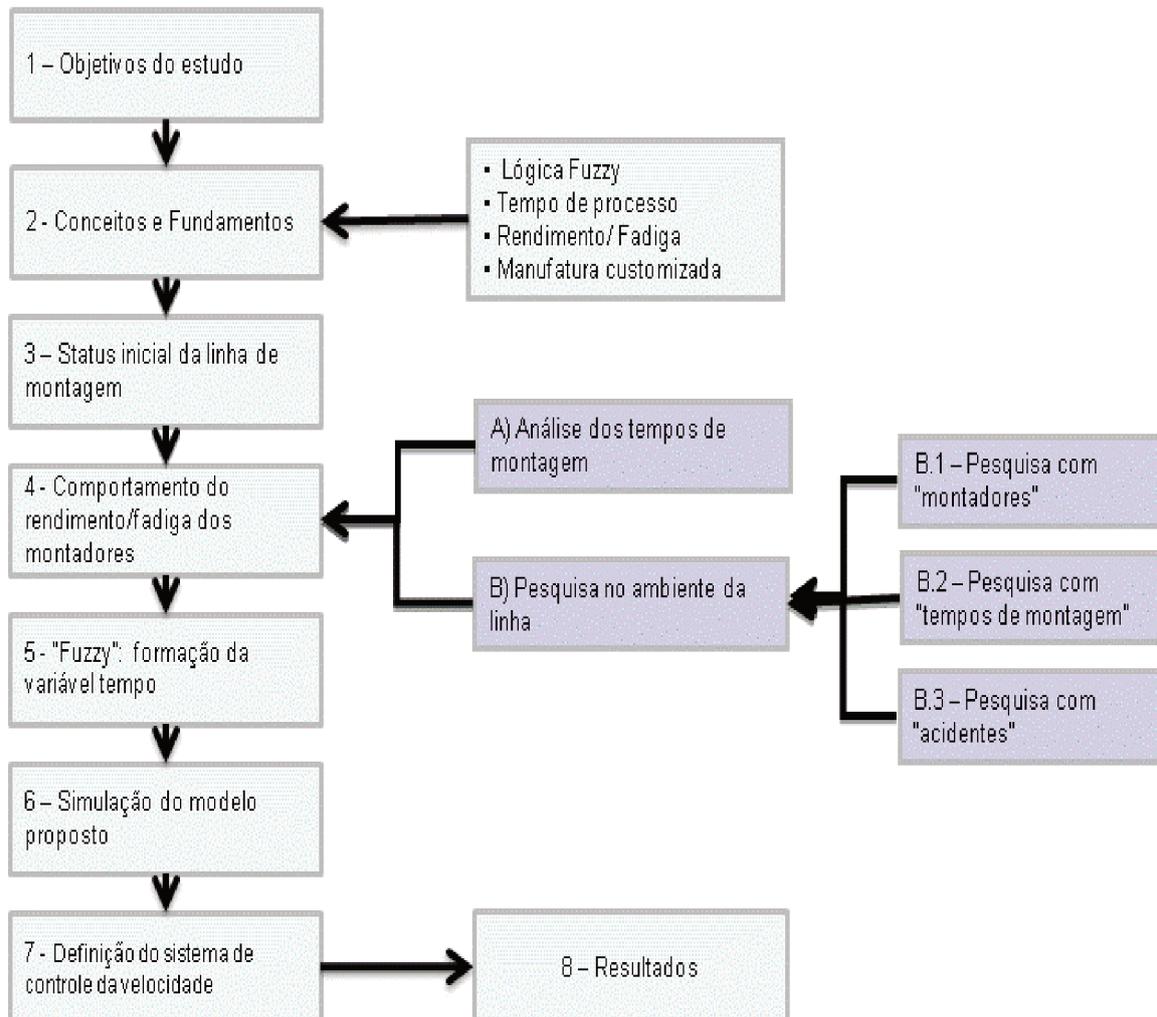


Figura 19 – Fluxograma do Trabalho

## 4.3. Análises dos tempos de processo de montagem

Os tempos de montagem adotados para o estudo são procedentes de um banco de dados, estes foram coletados e cadastrados pelos planejadores de processo da empresa em questão, estes tempos montagens contem a organização descrita na estrutura e organização do REFA. Com base nesta situação, uma validação dos tempos de montagem adotados foi efetuada

atraves de medidas desempenho da linha de montagem, reconhecendo o desempenho da linha de montagem e as condições de trabalho dos montadores.

A validação irá determinar a relação entre os recursos disponíveis e os recursos necessários. Para validar os dados foram calculados indicadores com base nos pilares da manufatura competitiva, mencionados por Slake: velocidade, qualidade, produtividade, flexibilidade e pontualidade.

Para tanto, foi estabelecido a relação descrita na tabela 09, utilizando como instrumento de comparação os cálculos dos tópicos seguintes, conforme Monden, Yasuhiro (2011) e Baudin, Michel (2002).

Tabela 09 Pilares da manufatura e recursos atuais

Pilares da Manufatura Competitiva – baseada em Slake	Recurso ou Atividade na linha de montagem
Produtividade	Capacidade anual
Pontualidade	Tempo do ciclo ponderado
Flexibilidade	Número de produtos
Qualidade	K fator
Produtividade	Número de estações
	Tempo de montagem
	Necessidade de Mão de obra

#### 4.3.1 Comparação entre os recursos disponíveis atuais e os instalados

Tempo do ciclo ponderado (TE): Tempo disponível para a execução das atividades, adicionados dos tempos complementares e suplementares.

$$TE = \frac{\textit{Tempo bruto}}{\textit{volume}} \quad (03)$$

$$TE = \frac{360\ 640}{70\ 000}$$

$$TE = 5,12 \text{ min}$$

Capacidade de produção anual (CP): Máxima capacidade de produção planejada produzida pela linha de montagem

$$CP = \frac{\text{Tempo disponível anual}}{\text{Tempo do ciclo ponderado}} \quad (04)$$

$$CP = \frac{391\,920 \cdot 0,92}{5,12}$$

$$CP = 70\,000 \text{ unidade /ano}$$

K fator (Kf): Índice de falhas admissível no processo de montagem anual:

$$Kf = \frac{\text{Output (eixo bons)} \times \text{Tempo do ciclo ponderado}}{\text{Tempo do ciclo ponderado}} \quad (05)$$

$$Kf = \frac{70.438 \times 5,128}{391\,920}$$

$$Kf = 0,92$$

Número de montadores (MO): Numero de montadores necessários para a elaboração das atividades das montagens

$$MO = \frac{\text{Tempo bruto} \cdot (2 - K \text{ fator}) \cdot \text{fator de esforço}}{\text{volume anual}} \quad (06)$$

$$MO = \frac{391.920 \cdot (2 - 0,92) \times 1,02}{70\,000}$$

$$MO = 6,25 \text{ homem}$$

Número de estações (NE): Numero de estações de trabalho necessárias

$$NE = \frac{\text{Tempo bruto} \cdot (2 - K \text{ fator})}{\text{volume anual}} \quad (07)$$

$$NE = \frac{391.920 \cdot (2 - 0,92)}{70\ 000}$$

$$NE = 6,1 \text{ estações}$$

Como um sumário das pesquisas dos tempos de montagem, captados do banco de dados da empresa, a tabela 10 demonstra a comparação entre os cálculos de validação dos tempos de montagem e as quantidades recursos/tempos utilizados na linha de montagem.

Tempo de recuperação de fadiga (TER): tempo de recuperação do montador aplicado a partir de quando é executado um esforço superior a cinco kilos e com frequência inferior a três minutos não será analisado devido a condição dinâmica do gargalo momentâneo.

O calculo do TER deve ser efetuado em cada estação e para todo o produto, o que perfazem 84 itens a serem calculados. Esta diversidade de itens não demonstrará um indicador para a aplicação no modelo em estudo.

Tempo de espera (TW): é o tempo que o montador não efetua nenhuma atividade no produto, devido ao excedente de tempo disponível para as atividades de montagem, neste caso não será analisados nem o Tempo de espera máximo ( $TW_{max}$ ) e o Tempo de espera mínimo ( $TW_{min}$ ) por apenas demonstrar um indicador estático, descaracterizando a condição dinâmica da linha de montagem.

Tabela 10 comparação entre cálculos de validação dos tempos e recursos atuais

Pilares da manufatura competitiva	Recurso ou atividade	Cálculo	Utilizados	Validação
Produtividade	Capacidade anual	70K	70k	Valores calculados compatíveis com a situação da linha
Pontualidade	Tempo do ciclo ponderado	5,12 min	5,48 min	Valores calculados com divergência em função do mix de produto (7%)
Flexibilidade	Número de produtos	12	12	Valores identicos ao portfólio atual da linha
Qualidade	K fator	0,92	0,92	Valores calculados compatíveis com a situação da linha

Produtividade	Número de estações	6,1	7,0	Valores calculados com divergência em função do mix de produto (7%)
	Tempo de montagem (TE)	5,22	5,60	
	Necessidade de Mão de obra	6,25	7	

Considerando a comparação entre os valores obtidos, desvio de 7% e com condições adequadas, pode-se considerar que estes estão dentro da faixa admissível e tolerável para um modelo de produção customizado, que possui variações de volumes e mix. Validando os tempos cadastrados no banco de dados para o uso neste estudo.

#### **4.4 Pesquisas do rendimento e fadiga na linha de montagem**

Análise da fadiga foi realizada através de pesquisa junto aos gestores da linha de montagem com um método qualitativo, devido a ampla experiência na operação. Para a validação do resultado obtido na pesquisa, além da comparação com os resultados da pesquisa de Peroni; foram realizadas comparações com três indicadores de rendimento da linha: 1) O rendimento segundo a percepção dos montadores da linha de montagem; 2) O rendimento em relação a variação do tempos de montagem do eixos durante o turno de trabalho; 3) A influencia das ocorrências de acidentes e perdas materiais diante do rendimento da linha de montagem durante. A figura 20 ilustra a organização e procedimentos das pesquisas realizadas para a constatação do fator de fadiga na linha de montagem:

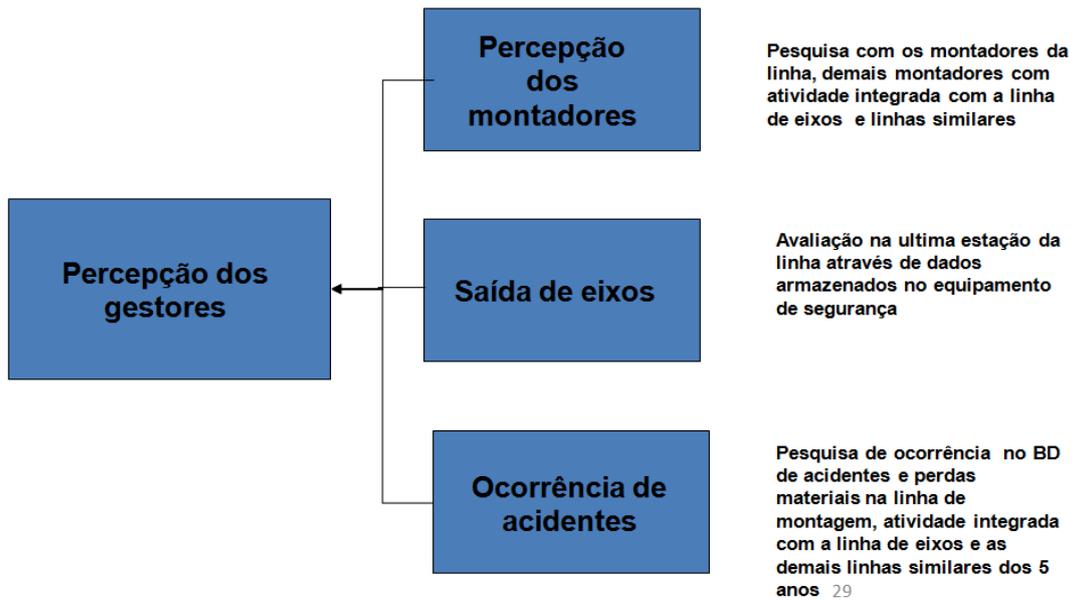


Figura 20 Procedimentos das pesquisas realizadas

Análise da fadiga foi realizada através de pesquisa junto aos oito gestores da linha de montagem com um método qualitativo, para tanto foi requerido a declaração em um questionário do índice de rendimento de cada hora de trabalho durante um turno. Após a consolidação dos dados obteve-se uma curva de rendimento superior a pesquisa de Peroni, principalmente na segunda parada do turno, conforme ilustrado pela figura 21.

Rendimento (%)

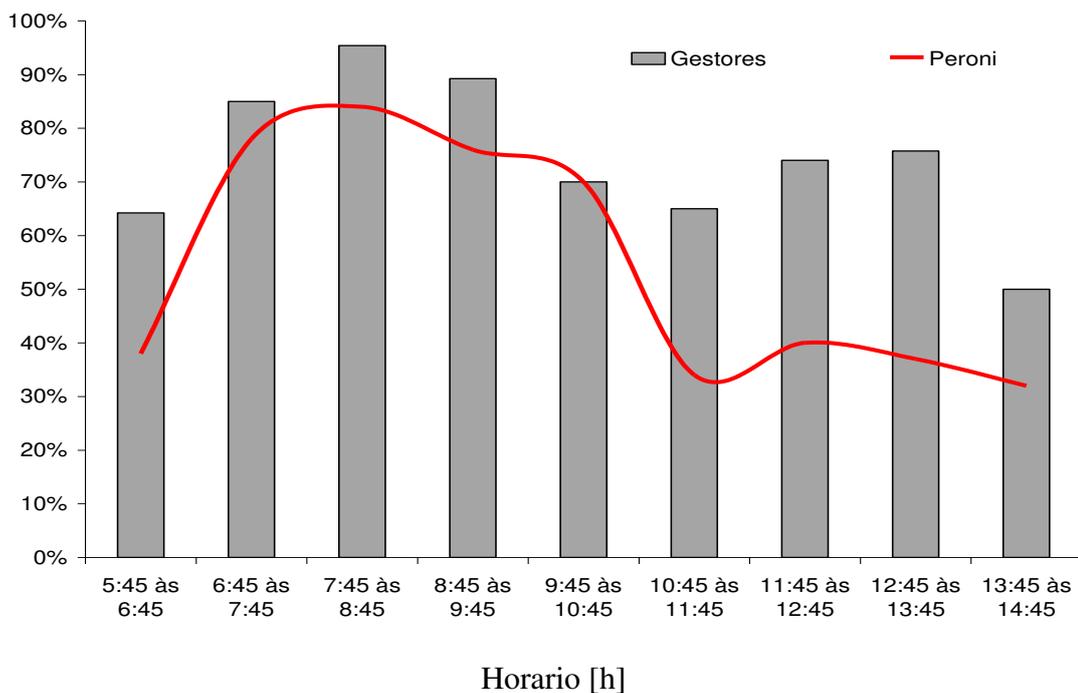


Figura 21 Rendimento segundo a percepção dos gestores

A pesquisa do rendimento segundo a percepção dos montadores da linha de montagem considerou, além dos trinta e seis montadores da linha de montagem mais 186 montadores com atividades integradas com a linha ou atividades similares, como por exemplo linhas de componentes dos veículos.

Para a avaliação do rendimento segundo a percepção dos montadores pesquisados foi aplicado um método qualitativo, considerando o perfil e a formação escolar dos pesquisados. O procedimento sugeriu duas perguntas em um formulário para a indicação dos horários de picos e vales do rendimento durante um turno de trabalho normal, na figura 22 ilustra o formulário aplicado na pesquisa

Avaliação	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>MAIOR DISPOSIÇÃO:</b> Indique com um "X" DOIS horários que você acredita ter uma <b>MAIOR</b> disposição (energia, facilidade, conforto) para as montagem no período da manhã										
<b>MENOR DISPOSIÇÃO:</b> Indique com um "X" DOIS horários que você acredita ter uma <b>MENOR</b> disposição (energia, facilidade, conforto) para as montagem no período da manhã										

Figura 22 – formulário de pesquisa para avaliação do rendimento dos montadores

Após a consolidação dos dados, obteve-se uma curva de rendimento oscilando inferior e superior a pesquisa de Peroni. Outro ponto observado é que os montadores não registraram como vale o pico a primeira hora do dia, conforme ilustrado pela figura 23.

Rendimento (%)

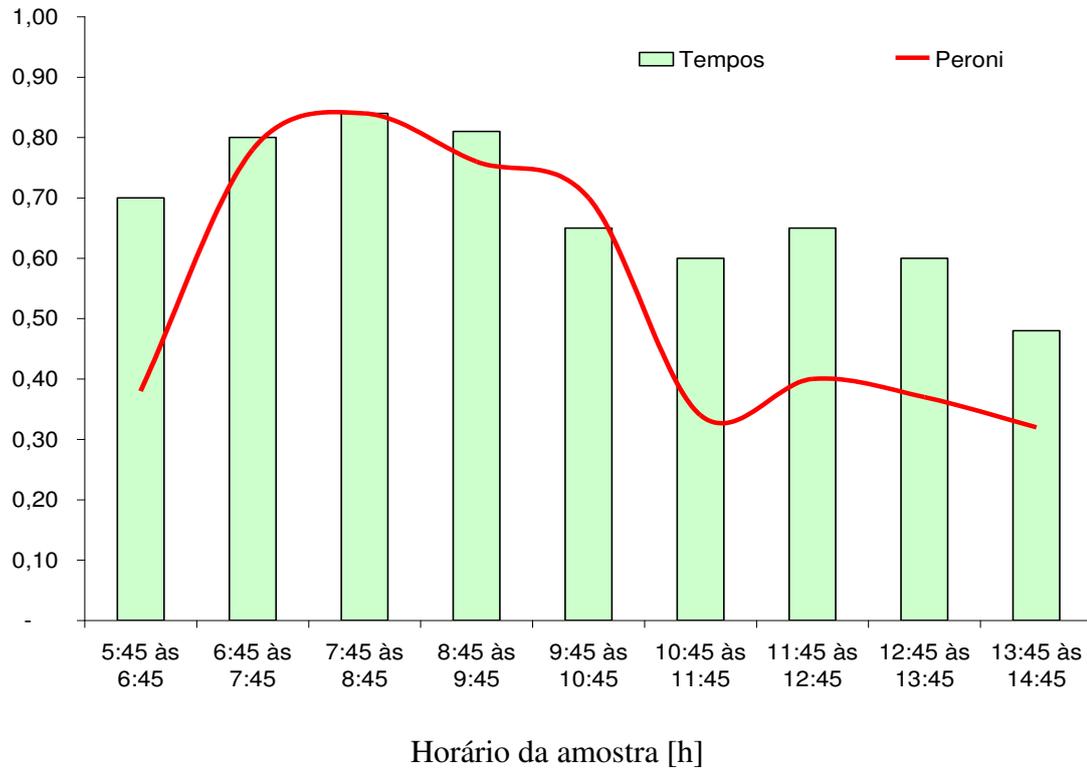


Figura 23 Rendimento segundo a percepção dos montadores

Para a análise da fadiga associada a variação do tempos de montagem foi selecionada a sétima estação da linha de montagem. Esta seleção foi devido a baixa influencia do atual modelo da velocidade da linha, a existência de somente atividades influenciáveis pelo homem e a similaridade de atividades de montagem estabelecendo o mesmo tempo de montagem. Para esta avaliação adotou-se os registros dos tempos armazenados no sistema de retirada da linha, um sistema de elevação semi-automático, a figura 24 ilustra o rendimento segundo o comportamento dos tempos de montagem

Rendimento (%)

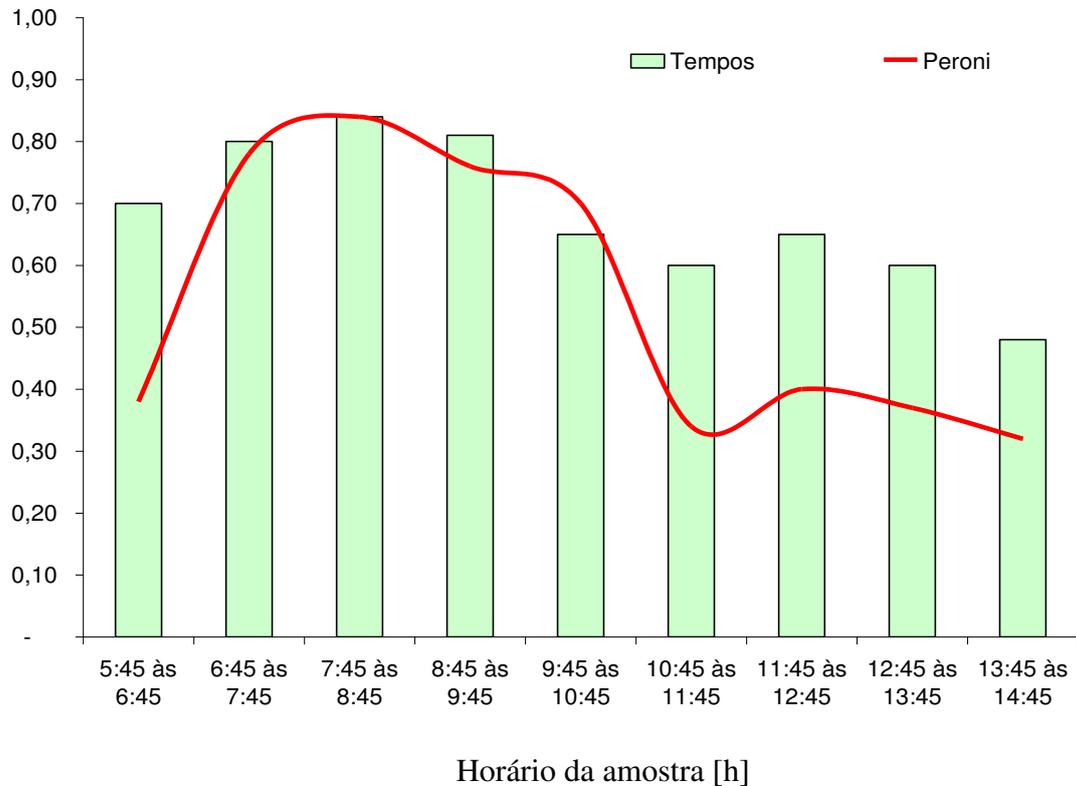


Figura 24 Rendimento segundo o comportamento dos tempos de montagem

c) A influência das ocorrências de acidentes e perdas materiais diante do rendimento da linha de montagem durante o turno de trabalho foi investigada para validar a curva indicada pelos gestores, este foi realizado com base em um banco de dados onde estão cadastradas as ocorrências dos últimos cinco anos, este banco de dados é utilizado para apuração estatística na prevenção de acidentes e para atendimento legal da empresa em questão. Como os acidentes e perdas ocorrem nas demais linhas da empresa estes efeitos também foram avaliados. Para a análise foram reconhecidos. Para a condução desta análise foram consultadas outras pesquisas correlatas.

Segundo Frank Bird, Jr e George L. (1990), para cada lesão grave relatada que resultou em incapacidade física, perda de tempo ou tratamento médico, existiam 9,8 lesões menores relatadas que requeriam somente primeiros socorros. Uma pesquisa demonstrou que, 95% das companhias que mais tarde analisaram as lesões graves em seus relatórios, a proporção foi de uma lesão com perda de tempo para cada 15 lesões com tratamento médico.

Das companhias analisadas, 47% indicaram que investigaram todos os acidentes com danos à propriedade e 84% afirmaram que investigaram acidentes graves com danos à

propriedade. A análise final indicou que foram informados 30,2 acidentes com danos à propriedade para cada lesão grave.

Parte do estudo incluiu 4.000 horas de entrevistas confidenciais sobre a ocorrência de incidentes que sob circunstâncias ligeiramente diferentes, poderiam ter resultado em lesão ou danos à propriedade.

A pesquisa a permitiu estabelecer a relação de equivalência entre uma lesão grave (1); dez lesões leves (10); trinta perdas materiais (30); dez acidentes com perdas materiais (10) e seiscentos incidentes – quase acidentes (600). Deve-se ter em mente que ela representa acidentes, danos à propriedade e incidentes relatados e não exatamente o número total de acidentes ou incidentes que realmente ocorreram.

Frank Bird (1990) apresentou um modelo piramidal para representar a evolução dos incidentes para os acidentes com graves danos humanos, figura 25. Segundo estes modelos, incidentes ocorrem num determinado número. Teoricamente, poderia ter havido acidentes em cada um deles. De fato alguns se constituem em acidentes com perdas materiais. Uma quantidade menor gera acidentes com consequências humanas leves e um número ainda menor leva a acidentes com danos de maior gravidade em pessoas. Em média, 600 incidentes geram 30 acidentes com perdas materiais e 10 com lesões humanas das quais uma é grave. Esta relação se dá mesmo em empresas com elevada preocupação com a segurança.

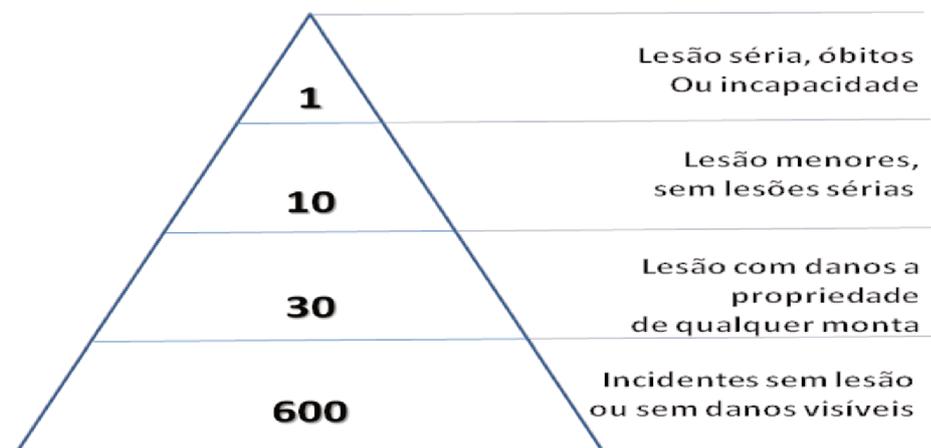


Figura 25 Pirâmide de Frank Bird e George L.

Segundo Frank Bird, Jr e George L. (1990), quando considera-se esta proporção, observa-se que 30 acidentes com danos à propriedade foram relatados para cada lesão séria ou incapacitante. Os acidentes com danos à propriedade incrementam os custos operacionais e ainda são freqüentemente denominados erroneamente e referidos como “quase acidentes”.

Ironicamente, esta linha de pensamento reconhece o fato de que cada situação de dano à propriedade pode provavelmente ter resultado em uma lesão pessoal. (Mark Friend, James Kohn, 2006)

A relação 1-10-30-600 no figura de proporções (figura 25), demonstra com toda clareza a insensatez que se comete ao dirigir os maiores esforços aos relativamente poucos eventos que resultam em lesões graves ou incapacitantes, quando existem tantas oportunidades significativas que oferecem uma base mais ampla para aplicação de um maior controle efetivo das perdas materiais e incidentais.

Estudos mais modernos acrescentam, à base da pirâmide de Bird, ilustrada pela figura 26, outro nível de ocorrência, anterior e, muitas vezes, causas potenciais dos incidentes. Seriam ações e procedimentos de pessoas, de tal forma relevante, que poderiam causar incidentes, iniciando o processo de futuros acidentes. Estas ações foram denominadas “comportamentos críticos”.

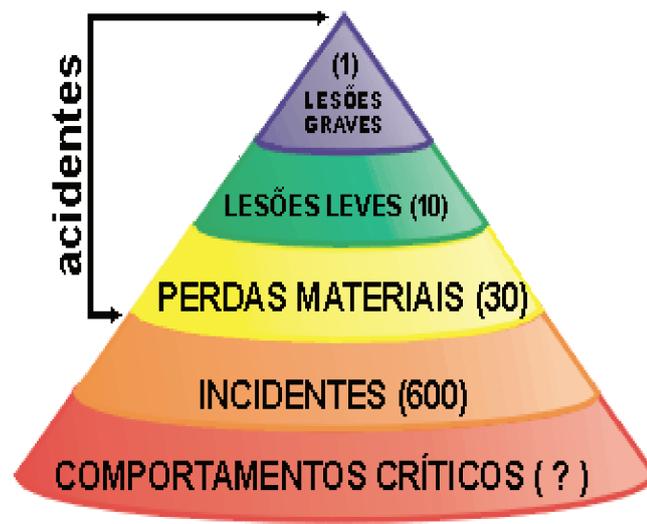


Figura 26 Pirâmide de Du Pont du Neymors

Du Pont du Neymors (1990), expõem a probabilidade nas ocorrências de acidentes em atividades onde o risco é eminente: “A exposição do trabalhador ao risco e gera o acidente, cuja consequência nesses casos tem efeito imediato, ou seja, ela se apresenta ao longo do tempo por ação cumulativa desses eventos sucessivos (quase acidente). É como se a cada minuto de exposição ao risco, um pequeno acidente, imperceptível, estivesse ocorrendo”.

Com base na visão de Frank Bird, Jr e George L(1990), onde há probabilidade de acidentes, perdas materiais ocorrem diante do aumento das ocorrências quase acidentes e ou

comportamentos críticos, associado da posição da Du Pont do Neymors, onde exposição a condição de risco maximiza o acidente.

Pode-se concluir que as ocorrências de acidentes são momentaneamente incrementais no momento em que o ritmo do trabalho são aplicados na linha montagem, sendo que um dos fatores de influencia é a variação da fadiga, que expõem os motadores a esta condição. Sendo assim, a pesquisa realizada junto ao banco de dados da empresa para verificar as ocorrências de acidentes registra situações comparáveis com a teoria de Peroni e as demais curvas obtidas com outras pesquisas.

Desta forma, pode-se comparar a curva de ocorrências de acidentes da linha de montagem de eixos, bem como, a curva das demais linhas de montagens. Esta comparação permite investigar e validar a influencia do fator da fadiga procedente ao comportamento do ser humano. Logicamente que, a de ser considerado a particularidade no nível instalado de prevenção em cada uma das linhas de montagens distantes. O gráfico seguinte demonstra a curva da linha de montagem de eixos comparado com a curva de Peroni.

Após a consolidação dos dados, obteve-se uma curva de rendimento oscilando inferior na primeira parte do turno e superior no final na segunda parte do turno, conforme ilustrado pela figura 27.

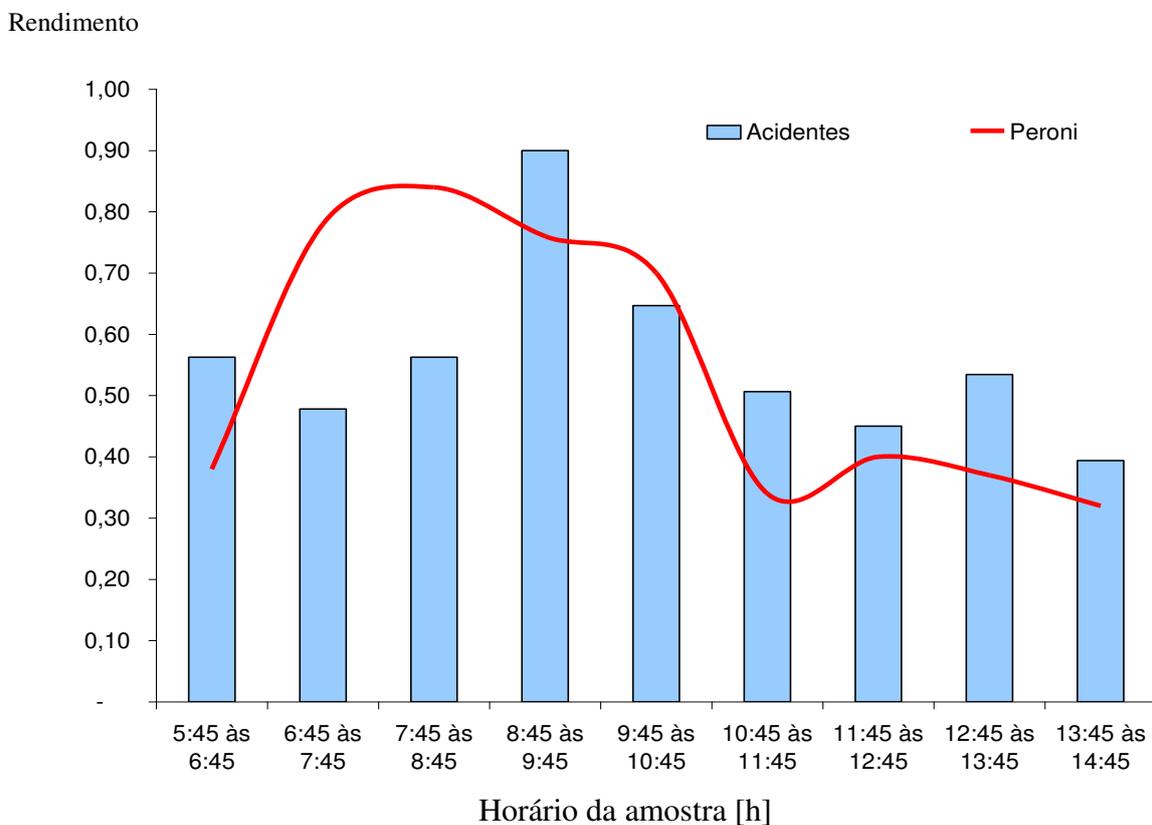


Figura 27 Curva de acidentes na montagem

O conjunto de dados obtido por meio das pesquisas demonstra a existência da alteração do rendimento durante o decorrer do turno de trabalho, conforme constatado na pesquisa de Peroni. Entretanto existem algumas variações nos resultados entre as pesquisas, conforme ilustrado pela figura 28. Estas variações foram submetidas em uma análise mais dedicada para a confirmação e validação do efeito do rendimento durante o turno de trabalho.

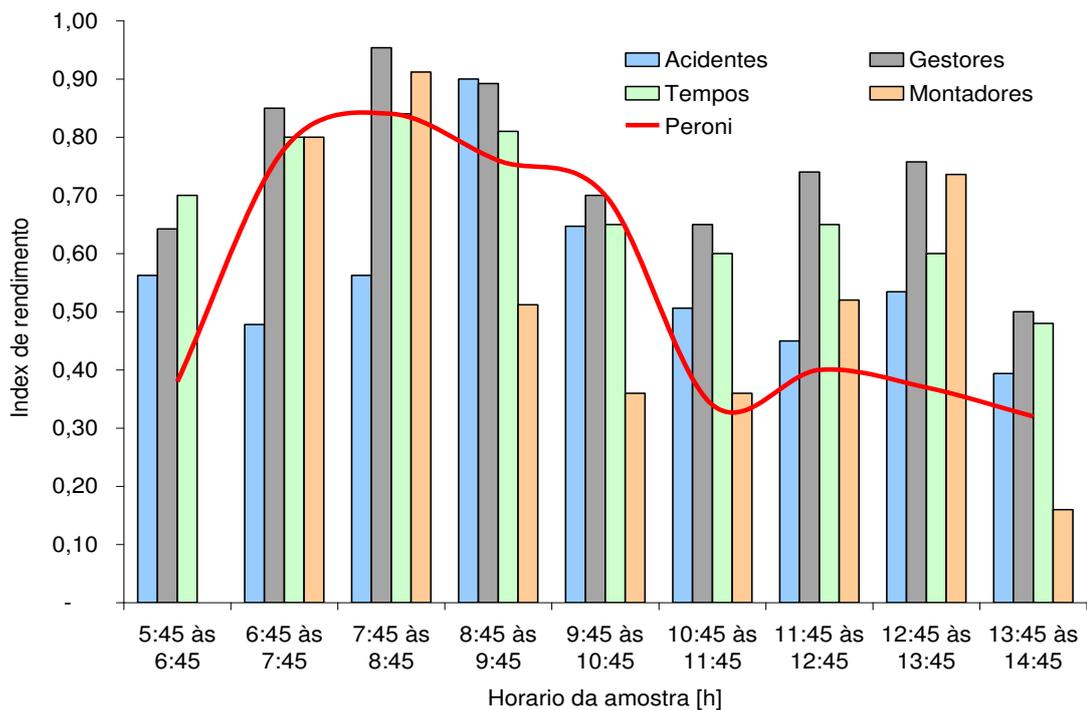


Figura 28 Comparação entre o comportamento do rendimento

Para a validação das pesquisas de rendimento, conforme resumo ilustrado na figura 29, aplicou-se a análise de correlação linear entre os resultados obtidos pela percepção dos gestores e as demais pesquisas. A correlação indicou a força e direção do relacionamento entre as curvas de rendimento das pesquisas

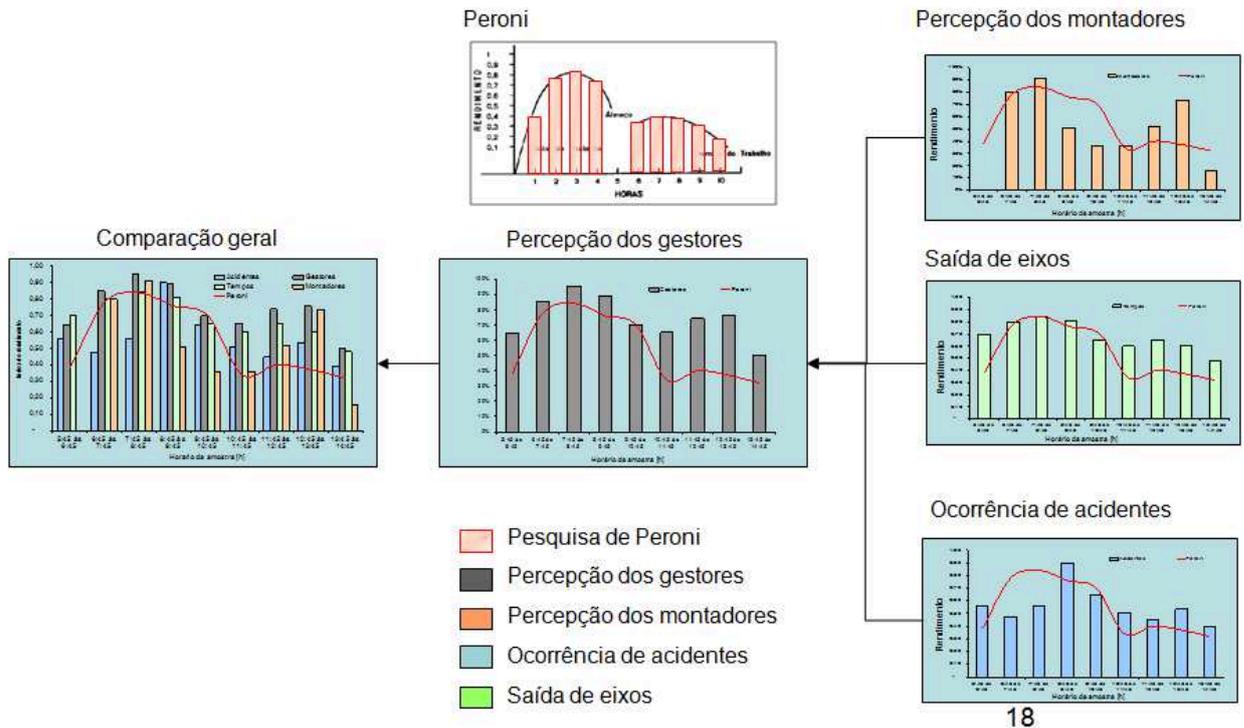


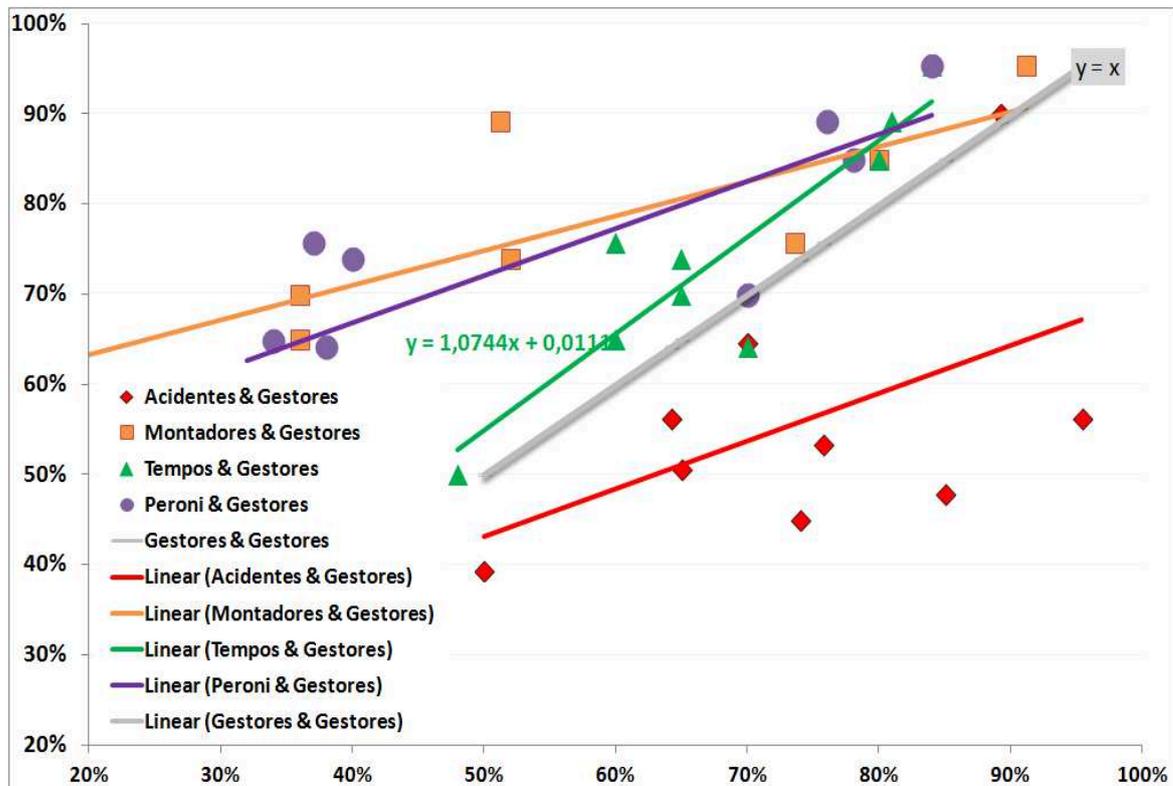
Figura 29 Resumo das pesquisas de rendimento

Na comparação reconhece-se a existência da correlação direta das pesquisas na faixa de alto rendimento, intervalo entre 70% a 90%, com excessão feita para a influência dos acidentes nos rendimento. Contudo na faixa de baixo rendimento é observada a existência de uma melhor correlação entre a pesquisa da percepção dos gestores e a de tempos de produção e da para a influência dos acidentes nos rendimento. Uma contribuição secundária desta pesquisa é de reafirmar a influencia de acidentes e perdas materiais associado ao rendimento, ainda que demonstrado uma baixa correlação, melhorias no processo de montagem são possíveis de investigação.

Uma correlação robusta é reconhecida entre o comportamento associado a pesquisa do tempo de produção e a percepção dos gestores. Nesta correlação é notada através da tendencia de paralelismo entre as duas retas de tendências estabelecidas pelas pesquisas. Este posicionamento demonstra um desvio médio de cerca de 5% validando assim os dados obtidos por intermédio da percepção dos gestores, conforme ilustrado na figura 30.

Esta correlação é entendida devido ao efeito e formado nos gestores, em função da atividade de administrar a linha de montagem com o foco na variavel tempo de produção, que é diretamente proporcional ao volume de eixos produzidos. Outro aspecto refletido na pesquisa

é que os montadores estabeleceram a avaliação do rendimento através da dificuldade de montar os eixos segundo aspectos técnicos e os esforços físicos.



## 5. ESTRUTURAÇÃO DO CONJUNTO DE INFORMAÇÕES FUZZY

Lógica “fuzzy” é baseada na teoria do Conjuntos Fuzzy. Tradicionalmente, uma proposição lógica tem dois extremos: ou é completamente verdadeiro ou é completamente falso. Entretanto, na lógica Fuzzy, uma premissa varia em grau de verdade de 0 a 1, o que leva a ser parcialmente verdadeira ou parcialmente falsa (JUNGES, 2006).

Dentro uma questão de linha de montagem, a lógica “fuzzy” pode ser utilizada no que se refere a velocidade ou ao tempo, garantindo o aproveitamento da linha e o aumento da produção, com redução de tempo e muitas vezes até mesmo de custos.

A base para a definição da velocidade do motor em uma condição segundo uma lógica booleana ou aristotélica, ou seja, todos os demais valores abaixo do gargalo perdem a função de multivalência, passavam a serem desconsiderados na formação da velocidade do motor,

independente de qualquer combinação da sequência dos eixos da linha de montagem onde é assumida a bivalência estática: velocidade zero ou dinâmico com velocidade de 5,6 min/eixo.

A formação da estruturação do conjunto fuzzy, ou número fuzzy, foi definido a partir da multivalência de todos os tempos de montagens, ou seja, foi realizada uma atribuição de pertinência a todos os tempos de produção, para qualquer sequência de produtos em operação de montagem, conforme ilustrado na figura 31.

A propriedade fundamental da lógica “fuzzy” foi aplicada com a função de pertinência  $\mu(\text{tempos}) = x$ , desta forma o universo do discurso foi estabelecido, com a condição que todos os valores do tempo de montagem pertence ao intervalo de  $\mu(\text{tempo})=1$ . Isto significa que todos os tempos de montagem foram considerados para a formação da velocidade em sua grandeza, definindo o conjunto universal ( $\varepsilon$ ), conforme mencionado por Shaw e Simões (2009), assim pré-estabelecendo a distribuição da possibilidade entre os tempo para a formação das regras do controle da velocidade do motor.

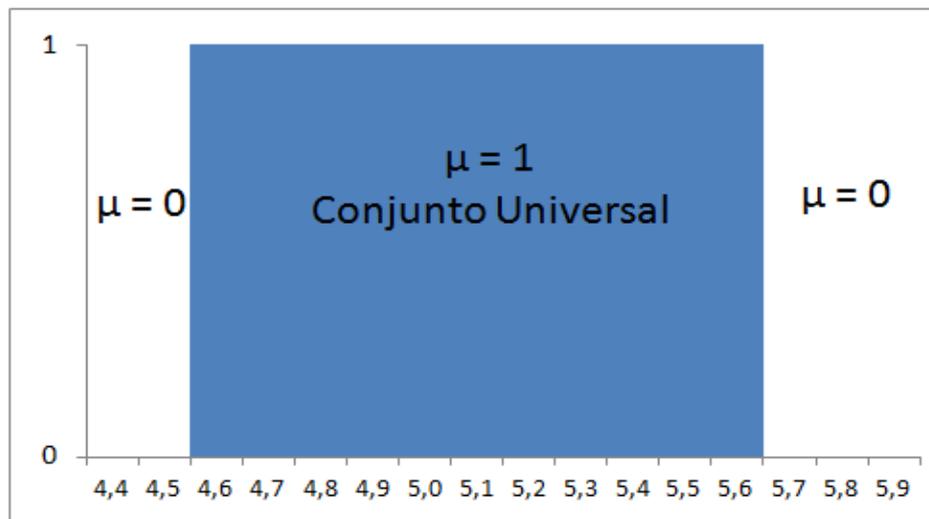


Figura 31 Definição do conjunto universal

Para a definição do conjunto universal ( $\varepsilon$ ) todos os tempos de montagem foram considerados com o valor de pertinência igual um.

### 5.1. Análise e pertinências das regras para o controle fuzzy

O controle executado pela lógica “fuzzy” imita um comportamento baseado em regras ao invés de um controle explicitamente restrito a modelos matemáticos como equações

diferenciais. O objetivo da lógica “fuzzy” é gerar uma saída lógica a partir de um conjunto de entradas não precisas, com ruídos ou até mesmo faltantes (JUNGES, 2006)

Para a formação das regras de intersecção de conjuntos “fuzzy” foram utilizados os conhecimentos e a experiências do universo de discurso: os técnicos de operação da linha de montagem, os históricos de ocorrências, as lições aprendidas pelos engenheiros de planejamentos associados aos planos de montagens futuros, as ocorrências de manutenção e os limites do sistema elétrico – eletrônico, e os mecânicos. A partir destas informações foram estabelecidos os conjuntos de regras e as operações (intersecção e união da pertinência) perfazendo as regras lógicas para estabelecer a melhor inteligência para o gerenciamento do motor da linha de montagem. Com base nestas premissas foram definidas duas regras:

- 1) Regra 1 – Limite momentâneo de montagem segundo a sequência de eixos disposta na linha de montagem;
- 2) Regra 2 – Flexibilização do tempo de montagem em função do rendimento humano ao longo de uma jornada de trabalho de um turno de montagem.

### **5.2. 1ª Regra: Tempo de montagem – limite momentâneo:**

Na formação da regra 1 existem dois aspectos técnicos do processo de produção considerados, o primeiro foi o ajuste da velocidade de arraste da linha de montagem, considerando os limites dos tempos de montagens dos eixos dispostos na sequência de montagem, denominado como gargalo momentâneo de um pulso da linha (takt-time). O segundo tem como referência aos tempos de montagens das diferentes famílias de eixos, estes possuem em uma mesma estação de montagem uma variação de duração do tempo devido a condições como: geometria, peso dos componentes, quantidades e tipos de componentes e os diferentes tipos de aplicação e outros. A figura 11, demonstra a diversidade dos tempos entre as estações de montagem.

Outros fatores inerentes as características individuais dos montadores da linha de montagem, como ritmo, habilidade e anatomia de cada montador, nível de treinamento e especialização nos postos de montagem foram considerados na formação dos tempos de montagem, não influenciando a elaboração desta regra.

O fluxo seguinte demonstra a regra estabelecida através da avaliação dos tempos dos eixos que se encontravam momentaneamente nas sete estações de montagem, conforme ilustrado na figura 32.

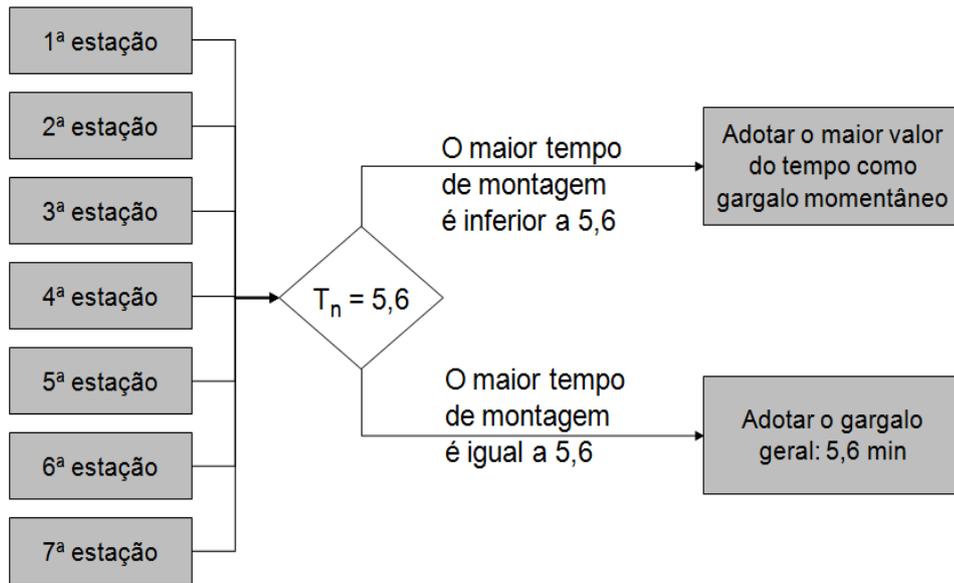


Figura 32 Lógica da 1ª regra, elaborado pelo autor no aplicativo Excel

A regra 1 perfaz a racionalização dos tempos, de modo adotar o maior tempo de montagem da sequência de eixos na linha, provendo uma redução no tempo do gargalo de produção geral, 5,6 minutos. Para exemplificar a regra 1, considera-se a linha de montagem com uma sequência de eixos na característica na ordem seguinte: PK2, PK7, VN8, VN8, VN9, PK7, PK3 destacados na cor azul na figura 33.

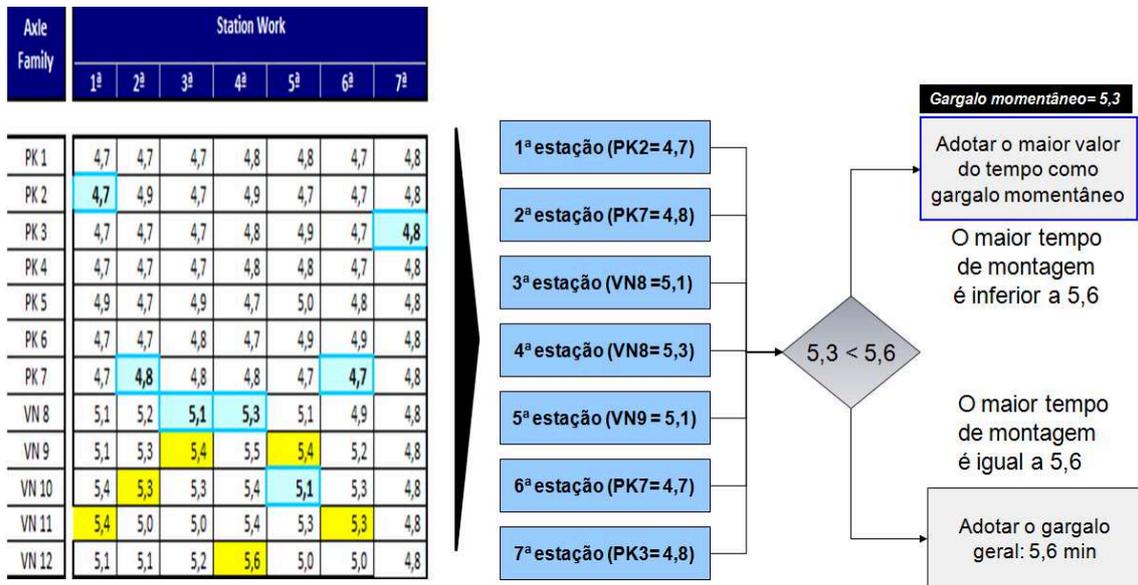


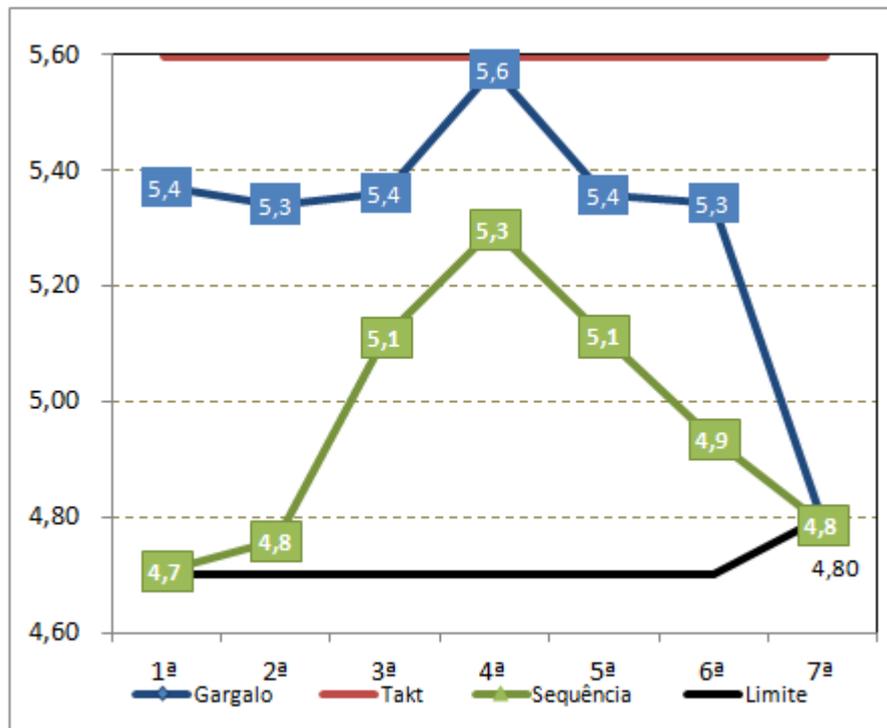
Figura 33 Tempos dos produtos, a sequência PK2, PK7, VN8, VN8, VN9, PK7, PK3 tarjados em azul.

Nesta condição as seqüências dispostas na linha de montagem o gargalo momentâneo é de 5,3 min./eixos, inferior ao gargalo geral de 5,6 min/eixo em 0,2 minutos, Esta redução estabelece uma redução no tempo de montagem em cerca de 5,36 % , ganho este específico no tempo de montagem desta seqüências.

Os tempos de montagens dos eixos da seqüência referência apresenta um baixo grau de saturação das estações de montagens em relação ao gargalo momentâneo, demonstrado pelas perdas do TW. Permitindo uma melhoria na qualidade da produtividade e na aplicação de um controle inteligente do processo.

Na figura 34 pode-se reconhecer o delta entre os tempos gargalos nas estações de montagem e os gargalos das estações de montagem, ilustrada na cor amarela. Com a aplicação da regra 1 os tempos de translação da linha iram permanecer no intervalo compreendido pela diferença entre os maiores tempos de montagem (curva amarela) e os menores tempos de montagem (curva preta). Este efeito é estabelecido pela lógica “fuzzy” por meio da regra 1.

Tempo de montagem [h]



Estação de montagem

Figura 34 Tempo de montagem da linha carregada com os produtos na seqüência referência, PK2, PK7, VN8, VN8, VN9, PK7, PK3 (cor azul).

Com base na distribuição dos tempos foram estabelecidas as faixas de variações dos tempos para a elaboração das variáveis linguísticas, levando em conta a experiência e o modelo de gestão da linha de montagem vide tabela 11.

Tabela 11: Faixas de variação dos tempos

Faixa de variação do tempo de montagem			Variável linguística	Código
$g$ mínimo	$g$ médio	$g$ máximo		
5,4	5,6	5,8	Longo	L
5,1	5,3	5,5	Meio Longo	ML
4,8	5,0	5,2	Médio	M
4,5	4,7	4,9	Curto	MC

As faixas de variações foram definidas com uma distribuição homogênea em quatro parcelas, considerando a variação em cerca de 10% para atender a diversidade entre o ritmo e habilidade, conforme figura 35.

Grau de pertinência

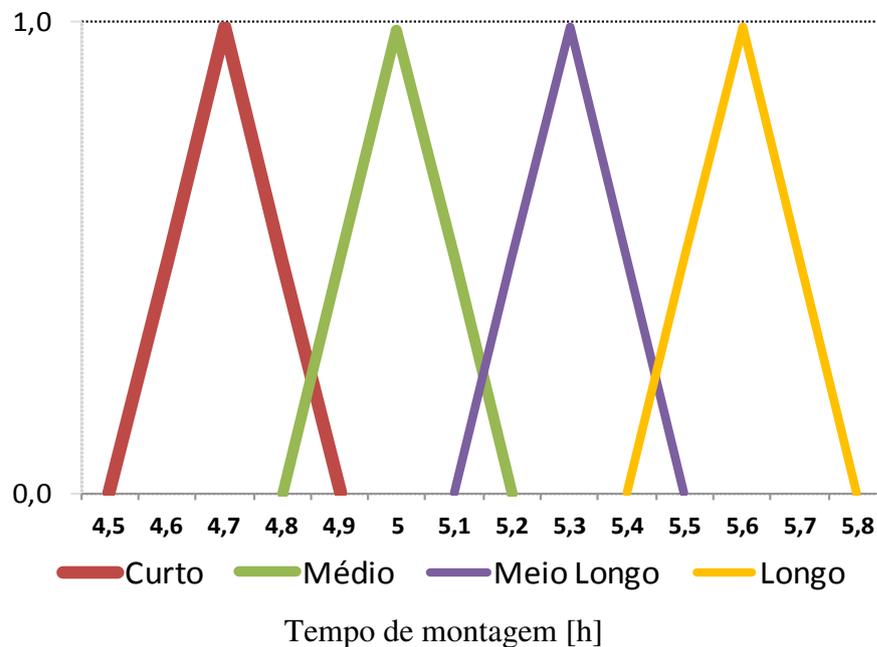


Figura 35 Pertinências - as funções demonstram as variáveis linguísticas entre as faixas de tempo, com característica de função triangular.

Para as regiões onde existe a intersecção entre funções triangulares foram considerados a dominância da função com a maior média da variável tempo de montagem.

Com esta definição, alguns tempos de montagem foram ampliados somente o máximo de 0,1 minutos, excessão feita à função para os tempos longos.

Portanto pode-se definir o gargalo instantâneo como  $g$  para a regra 1 com a lógica seguinte:

$$\text{Regra } 1 = \{ g = g_{\text{m\u00e9dio}} \mid g \in \mu_1^* \text{ se } g_{\text{m\u00ednimo}} < g < g_{\text{m\u00e1ximo}} \} \quad (08)$$

A infer\u00eancia individualizada, somente para a regra 1 contem a seguinte condi\u00e7\u00e3o (se $\rightarrow$ ent\u00e3o) para cada faixa lingu\u00edstica.

$$I_{g_{\text{curto}}} \Rightarrow (\text{se } 4,5 < g < 4,9) \rightarrow (g = 4,7) \quad (09)$$

$$I_{g_{\text{m\u00e9dio}}} \Rightarrow (\text{se } 4,8 < g < 5,2) \rightarrow (g = 5,0) \quad (10)$$

$$I_{g_{\text{m\u00e9dio alto}}} \Rightarrow (\text{se } 5,1 < g < 5,5) \rightarrow (g = 5,3) \quad (11)$$

$$I_{g_{\text{curto}}} \Rightarrow (\text{se } 5,4 < g < 5,8) \rightarrow (g = 5,6) \quad (12)$$

### 5.3. 2<sup>a</sup> Regra: Flexibiliza\u00e7\u00e3o do tempo de produ\u00e7\u00e3o em fun\u00e7\u00e3o de rendimento humano

Uma motiva\u00e7\u00e3o para inclus\u00e3o do rendimento como regra do controle da velocidade da linha de montagem \u00e9 o reconhecimento pelos gestores no processo de montagem desde recurso. Estes com a frequ\u00eancia alteram a velocidade da linha de montagem durante os turnos de trabalho em cerca de duas a tr\u00eas vezes por jornada de trabalho, de acordo com o n\u00edvel de disposi\u00e7\u00e3o dos operadores.

Estes procedimento tamb\u00e9m \u00e9 efetuado aleatoriamente durante os dias da semana, com ocorr\u00eancias maiores durante o meio da semana de trabalho, estas altera\u00e7\u00f5es s\u00e3o motivadas diante da composi\u00e7\u00e3o do mix de produ\u00e7\u00e3o, identificando o grau de satura\u00e7\u00e3o dos montadores diante das atividades a serem realizadas entre os diferentes lotes de eixos a serem montados.

Um aspecto relevante a ser considerado s\u00e3o as varia\u00e7\u00f5es de velocidades (incrementos e decrementos) na linha s\u00e3o diferentes entre as etapas dos turnos de trabalhos, bem como nos diferentes turnos de um dia.

A l\u00f3gica “fuzzy” corroborou com este procedimento no processo, melhorando a precis\u00e3o das altera\u00e7\u00f5es e ajuste da velocidade da linha. Um segundo ponto obtido com esta regra foi minimizar o impacto das altera\u00e7\u00f5es estabelecidas com a velocidade na linha de

montagem devido implantação da regra 1. A regra 1 influenciou na atuação de trabalho dos montadores, expondo-os a uma maior frequência aos gargalos de produção e um incremento de fadiga devido aos esforços nas atividades de montagem.

Desta forma a inclusão da regra 2 estabeleceu um fator de manutenção do rendimento no trabalho, reduzindo a variação nos tempos montagem, proveniente a função da fadiga dos montadores durante do turno de trabalho.

Os fatores influenciadores por atividades inerentes as variações no ambiente da linha de montagem, tais como: esforço mental, monotonia e esforço físico, calor, ruído, a sobre carga da força humana e as condições ergonômicas não são abordados pela regra 2. Contudo estes fatores permaneceram considerados junto aos tempos de montagem por que já estão compostos nos tempos de montagem mediante nas parcelas dos tempos de recuperação da fadiga (TER) e os tempos adicionais a capacidade humana (TP) .

Para formação da regra 2 a pesquisa de rendimento de produtividade, que define variação ao longo da jornada de trabalho, foi utilizada para estabelecer a fuzzificação através dos valores linguísticos e a definição da função pertinência na regra 2, uma classificação dos rendimentos foi efetuada conforme o nível de rendimento entre as horas de uma jornada de trabalho. A tabela 12 demonstra a classificação.

Tabela 12 Regra 2 conversão dos valores lógicos em valores linguísticos

Faixa de variação do rendimento				Variável linguística
Faixa	$r_{\text{mínimo}}$	$r_{\text{médio}}$	$r_{\text{máximo}}$	
$r_1$	85%	95%	>95%	Alto
$r_2$	75%	85%	95%	Ótimo
$r_3$	65%	75%	85%	Médio
$r_4$	>65%	65%	75%	Baixo

Em uma formatação gráfica as variáveis linguísticas demonstram a função pertinência. O figura 31 demonstra as curvas de pertinências de forma tripé, curva triangular, para cada uma das variáveis linguísticas, conforme figura 36.

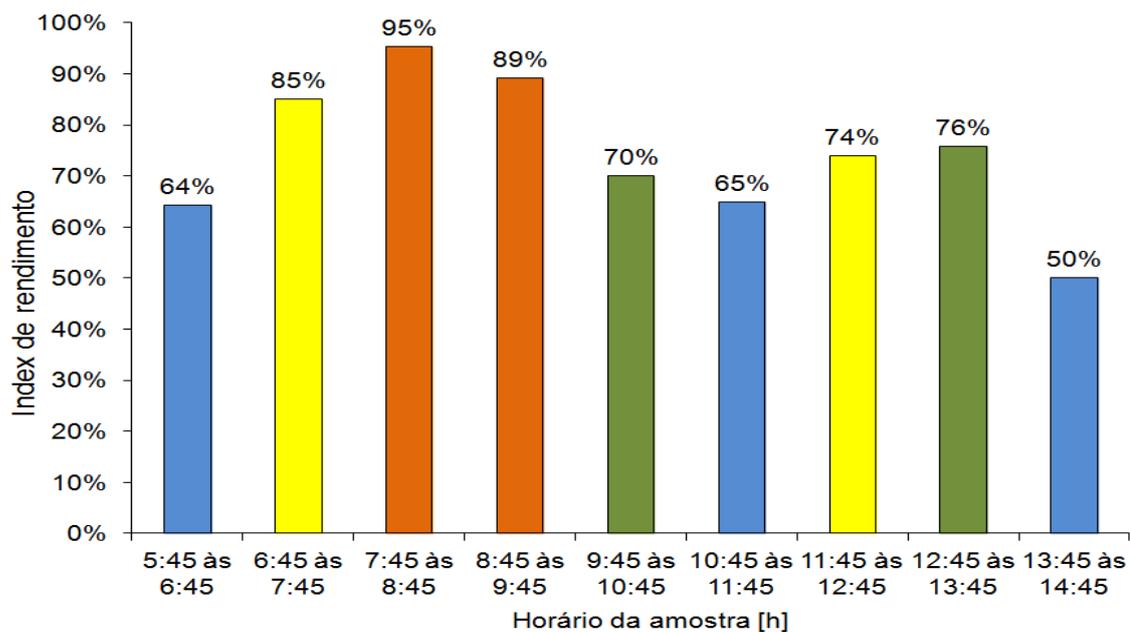


Figura 36: A distribuição da pertinência para cada período de tempo de montagem durante a jornada de trabalho

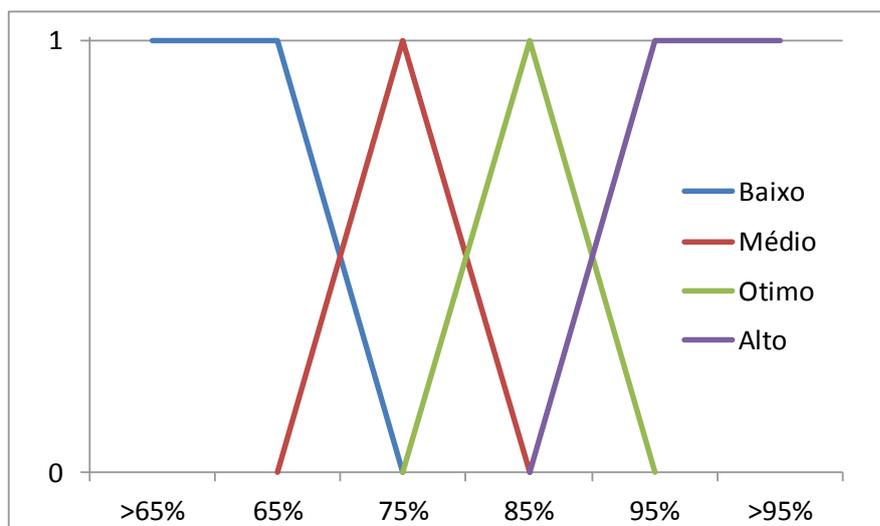


Figura 37 Regra 2 Função pertinência.

Conversão dos valores lógicos em valores linguísticos com as funções pertinências.

Para as regiões onde existe a intersecção entre funções triangulares foi considerado a dominância da função com a maior media da variável tempo de montagem. Com esta definição os alguns tempos de montagem foram ampliados no máximo em 0,1 minutos, excessão feitos à função dos tempos de alto rendimento.

Portanto pode-se definir o gargalo instantâneo como  $r$  para a regra 2 com a lógica seguinte:

$$\text{Regra}_2 = \{ r_i = r_{\text{médio}} \mid r_i \in \mu_{2^a} \text{ se } r_{\text{mínimo}} < r_i < r_{\text{máximo}} \} \quad (13)$$

#### 5.4 A UNIÃO DAS REGRAS

Para definir a formação da união das regras (regra geral) foram reconhecidos os efeitos das duas regras, perfazendo o conjunto de regras fuzzy, sendo assim a equação de pertinência foi definida na seguinte condição e representada na figura 32:

$$g \in 1^a \text{ regra} \cdot r \in 2^a \text{ regra} \Rightarrow \mu_{1^a} \cdot \mu_{2^a} \Rightarrow \mu_{(1^a \cup 2^a)} \quad (14)$$

A união das regras permite a decodificação das variáveis linguísticas. Sendo assim, é considerado o tempo do gargalo para o reconhecimento do valor na função linguística, primeira regra, e posteriormente o resultado obtido é submetido ao índice de rendimento, regra dois, em que o trabalho é realizado.

$$\text{Regra}_{\text{geral}} = \{ rg \in \mu_{1^a} \cdot \mu_{2^a} \rightarrow r_{\text{mínimo}} < r < r_{\text{máximo}} \} \quad (15)$$

Utilizado a sequência de eixos adotada no figura 6 para a exemplificação da regra geral tem-se o fluxo seguinte:

Pode-se afirmar com base na sequência de eixos escolhida que a velocidade para a montagem de eixos será dado pelo gargalo instantâneo: regra 1, onde  $\{(g=5,1) \rightarrow (gm 5,3)\}$  e pela do rendimento humano às 8:00 h: regra 2, onde  $\{ r_i = r_{\text{médio}} = 0,93 \}$  subtraindo se o valor do rendimento atual, já incluso no tempo de montagem de 26% (vide figura 1).

É reconhecido que as velocidades para os demais horários de trabalhos, durante a jornada de trabalho serão alterados, como pode-se ver na ilustração da figura 38.

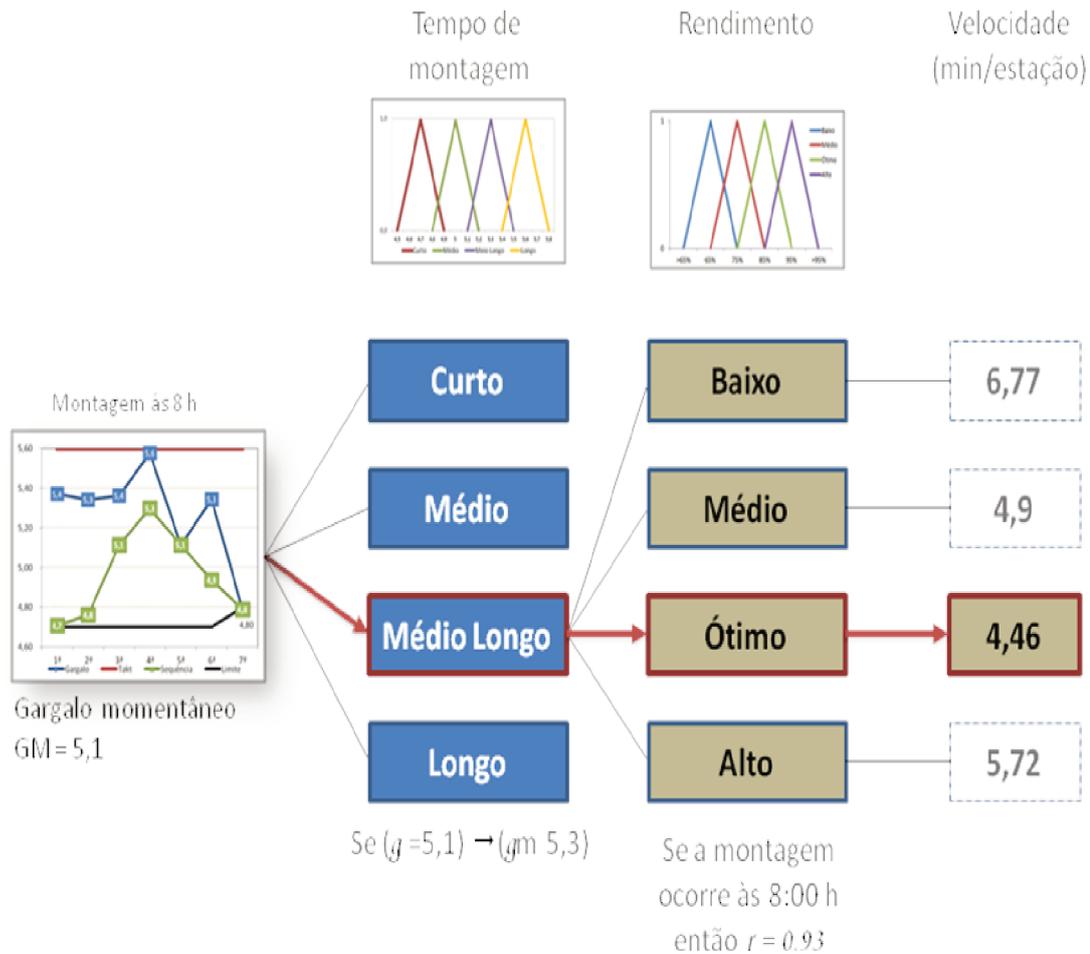


Figura 38 Procedimento da União das regras

Logicamente, que o sistema de produção poderia ser controlado por demais regras, contudo a complexidade do controle foi reduzida para minimizar a complexidade da implantação (SARAGIOTO,S.R.P.,2012). Obviamente que as análise possui uma abrangência maior.

### 5.5. Desfuzzificação: conversão dos resultados gerados pelas regras.

No caso em estudo, a desfuzzificação gerou os dados pela conversão das pertinências, atendendo os ajustes das velocidades do motor da linha de montagem para a sequência: PK1, PK3, PK4, PK5, VN9, VN10, PK2 onde foi reconhecido uma redução na velocidade de 17%, em função da redução do tempo 0,9 min.

Para a avaliação do modelo, em um grupo maior de sequências, foi simulado no software de simulação ARENA® as regras e os dados através da teoria das filas associado a estatística amostral junto ao fluxo de produção obtendo um resultado

## 6. SIMULAÇÃO MANUFATURA – MODELO DISCRETO

Para a avaliação do modelo, em um grupo maior de sequências, foi simulado no software de simulação ARENA<sup>®</sup> com as regras e os dados através da teoria das filas associado a estatística amostral junto ao fluxo de produção obtendo um resultado.

Conforme a Promodel, para a aplicação da simulação não existem um conjunto de regra precisas para a condução do estudo, no entanto, os passos são geralmente orientados com a linha de guia seguinte de Gordon 1978.

1. Planejar o estudo
2. Definir o sistema
3. Construir o modelo
4. Rodar os experimentos
5. Analisar os resultados de saída
6. Estratificar os resultados

Segundo o procedimento de simulação no Laboratório de Simulação e Controle de Sistemas Discretos no NUMA / USP-São Carlos, o processo de simulação é interativo e a cada atividade é definida e algumas vezes é redefinidas com a interação. Descrevendo o processo Pritsker (1986) e Pegden (1995) observam o seguinte: Planejar; Definir; Construir; Rodar; Calibrar, Analisar e Reportar.

Para quantificar a produtividade obtida com as regras 1 e 2, um modelo foi elaborado com base nos dados obtidos: os tempos de montagem associados com sequências de linha de montagem.

Considerando as possibilidades de arranjos simples entre as doze famílias de eixos em sete estações de montagem tempos tem 3.991.680 sequências possíveis de fluir na linha, ainda que limitadas ao volume de 70.000 u/ano. Portanto uma ferramenta robusta para a verificação do controle de velocidade do motor da linha associando as regras “fuzzy”, sequências e volumes, em como a comparação entre cenários requeem um simulado de manufatura discreta.

Para a aplicação da simulação não existem um conjunto de regras precisas para a condução do estudo, no entanto, os passos são geralmente orientados com a linha de guia seguinte: Planejar o estudo; Definir o sistema; Construir o modelo; Rodar os experimentos; Analisar os resultados de saída; Estratificar os resultado (Pritsker 1986)

## 6.1 Modelos de simulação utilizando o ARENA®

Para a elaboração da simulação foi desenvolvido um modelo no software ARENA®, que é baseado na teoria de fila e ferramentas estatísticas estocásticas. Em que a lógica adotada foi calibrada com o modelo virtual posto na situação atual e a condição futura, simultaneamente, orientados com a mesma entidade de origem.

O modelo possui dois procedimentos distintos para o cálculo das regra 1 e regra 2. Para a regra 1 foram utilizados os tempos de processo desfuzificados para o controle da fila, este controle foi modelado através dos comandos “*signal*” e “*realize*”. Após isto os tempos de montagens foram adicionados as entidades por meio do comando “*chance*”. O comando “*chance*” inclui na entidade todas as características do produto durante o processo, como por exemplo os tempos de montagem em cada estação.

Por sua vez a regra 2 foi definida com um contador da variável temporal associado ao controlador do tempo “*Schedule*” e “*Around*”. A curva de rendimento é disponibilizada através de uma variável global, que conjuntamente com os atributos das entidades estabelecerão a duração dos tempos nas estações de montagem.

Para a quantificação dois gráficos contadores de eixos foram alocados no final da linha com o comando “*depart*”.

Com este modelo, ilustrado pela figura 39, é permitido simular as regras 1 e regra 2 integradas ou também cada regra individualmente. Reconhecendo a colaboração individual no processo de montagem.

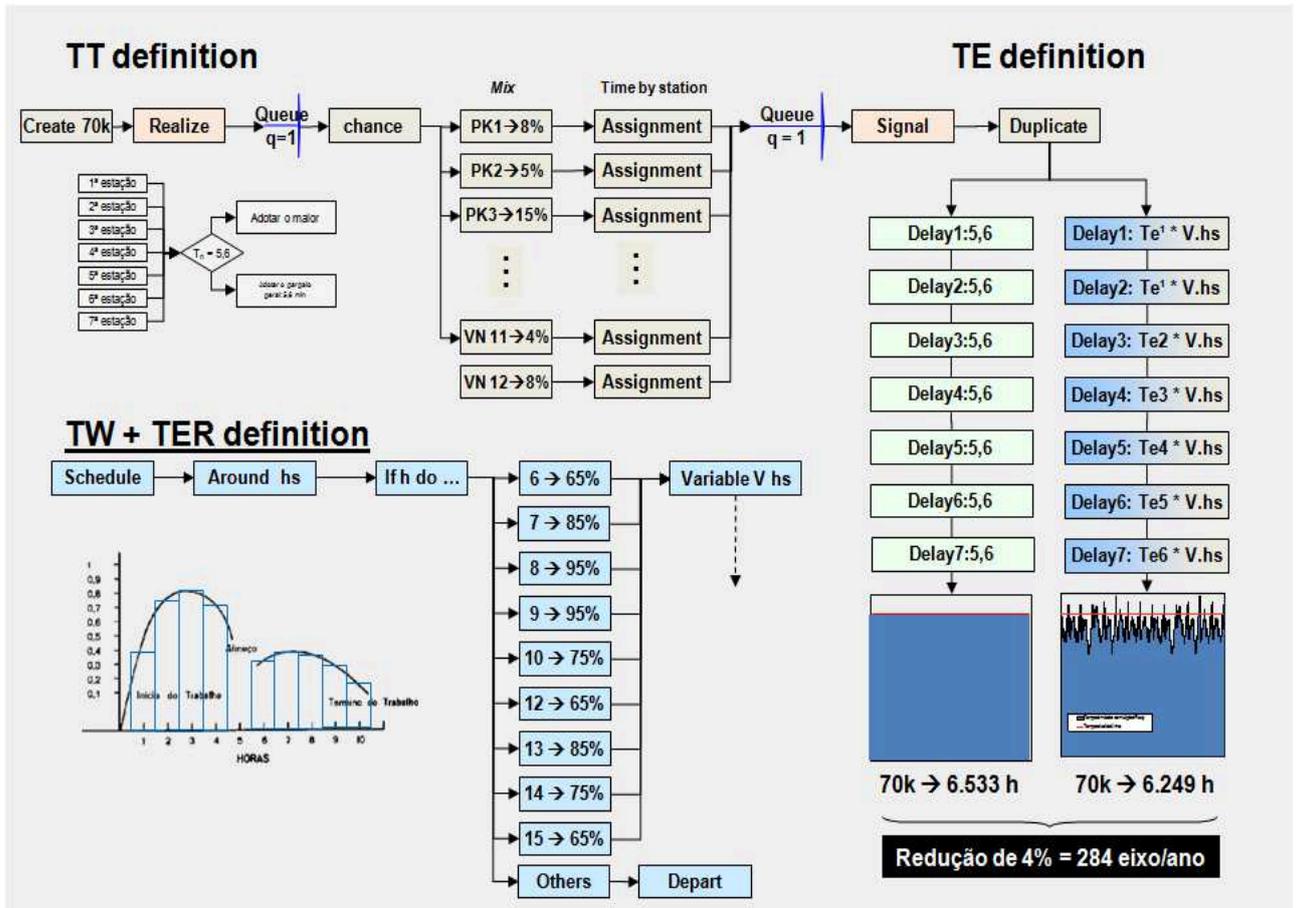


Figura 39 Lógica e sintaxe do modelo de simulação

## 6.2 Resultados obtidos pela simulação

Após a simulação de 145 horas de simulação, uma parcela da simulação durante o período de um ano (391.920 minutos), obteve-se o resultado de aumento da produtividade de 4%. O ganho é reconhecido, basicamente, pela diferença entre a área azul e linha vermelha, a qual demonstra o tempo atual, 5,6 minutos. Para a simulação um modelo foi estruturado a fim de permitir a simulação com os parâmetros da lógica fuzzy. A estruturação foi organizada em três passos seguintes

### 6.2.1 Resultados na simulação com a situação atual – Calibração do modelo

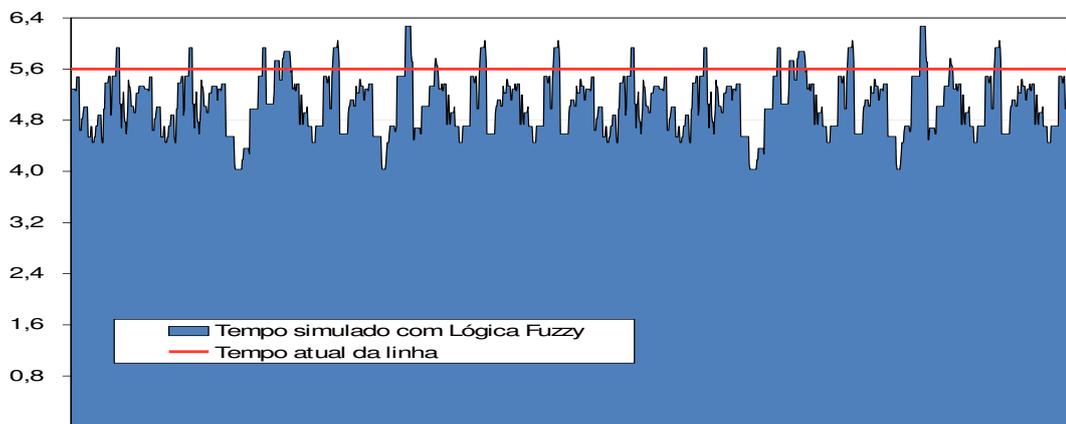
Esta simulação foi realizada para a calibração do modelo. Segundo o procedimento do NUMA / USP-São Carlos a diferença entre a situação atual e os resultados devem ser inferior a 1%. Contudo neste caso a simulação da situação atual é simples, pois a linha possui uma lógica ancorada no presente takt-time (5,6 min/eixo) e no volume de produção.

O modelo obteve com resultado da produção de 70.423 unidade anuais, com o comportamento demonstrado no gráfico de saída em uma função normal, com desvio 0,6% ideal para a validação.

### 6.2.2 Resultados na simulação com a aplicação da regra 1 e a regra 2:

O modelo com a aplicação da regra 1 e a regra 2 obteve com resultado a produção de 73.381 unidade anuais o comportamento, um adicional de 4% no volume, demonstrado na figura 40.

Tempo [min]



Eixos produzidos [eixo]

Figura 40 Simulação com ARENA<sup>®</sup> demonstra o comportamento da produtividade obtido no modelo

## 7. DEFINIÇÃO DO CONTROLE DA LINHA DE MONTAGEM

Com base na definição das informações organizou-se os controles nos tópicos seguintes:

*A coleta das informações das estações:* Como a precisão da variável tempo é fundamental para este processo, os tempos são monitorados de forma autônoma por um supervisor, que informa a ocorrência da evolução do tempo de montagem, as paradas por motivos grosseiros como: peças com defeito, fornecimento incorreto, quebra de ferramentas e necessidades pessoais. Estes dados são tratados com procedimentos estatísticos e periodicamente ajustados com a avaliação dos planejadores.

### Composição do sistema de controle

1. Próximo eixo da sequência de produção a ser montado, informação coletada por código de barras da ordem de serviço;
2. Coleta dos tempos de montagens; para todas as estações; no banco de dados em função do eixo indicado pela ordem de serviço;
3. O tempo do gargalo momentâneo entre as sete estações é igual ao tempo de 5,6 min.;
- 4.1 O controle de velocidade da linha de montagem aplica a velocidade de translação para o takt de 5,6 min/eixo;
- 4.2 Reconhecer o valor do tempo do gargalo momentâneo;
5. Armazenar o resultado da regra 1;
- 6.1 Reconhecer a hora do dia que esta sendo realizada a montagem;
- 6.2 Armazenar o resultado da regra 2;
7. Definição do tempo de montagem aplicação da união das regra 1 e 2;
8. Conversão do tempo em velocidade de translação da linha de montagem.

A figura 41 ilustra a sequência e o fluxograma do controle de montagem

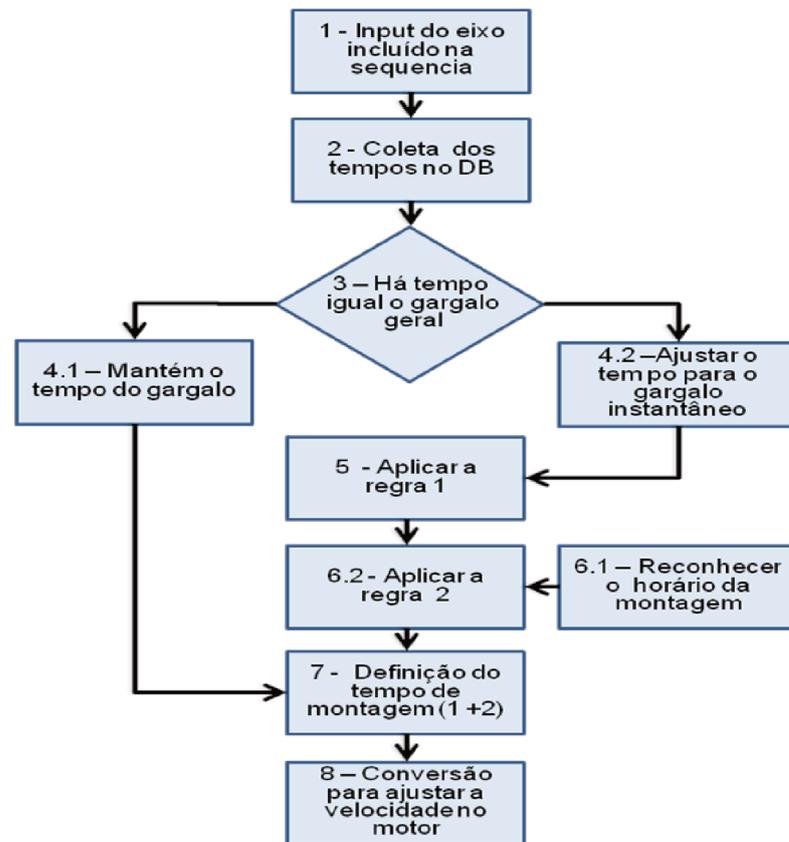


Figura 41 Fluxograma do controle de montagem

Um potencial existente no processo de tratarmos com ferramentas estatísticas os tempos de montagem coletados e atualizarmos tanto a regra 1; os valores de duração das operações de montagens; e a regra 2; curva de fadiga dos operadores. Com esta coleta de dados pode-se implementar um modelos de lógica NeuroFuzzy e assim definirmos a velocidade do motor da linha de montagem por meio de um modelo de inteligente, sem a interação humana para os ajustes.

## 8. CONCLUSÃO

O objetivo geral deste trabalho foi alcançado, na medida em que foi definido o controle para a velocidade do motor de uma linha de montagem de eixos dianteiros para a aplicação em veículos comerciais. Em relação aos objetivos específicos, pode-se concluir que:

- Aplicou a lógica “fuzzy” do tipo 1 para a definição da sistemática de controle na linha de montagem de eixos dianteiros de veículos agrícolas que possui tracionamento por meio de um motor elétrico;
- Foi revisado e contextualizado o estado da arte do balanceamento de linha de montagem abordando os aspectos seguintes:
  - a) Conceitos dos tempos de processo para a montagem, obtendo uma significativa redução nos tempos de espera (TW) em todas as estações de montagens;
  - b) A variação do rendimento humano associado ao decorrer do período de uma jornada de trabalho;
  - c) A contribuição da flexibilidade de *mix* no processo de montagem como uma robusta vantagem competitiva formada pela manufatura customizada;
- Foi definido um modelo de simulação estocástico validando os conceitos de manufatura e controle proposto para a linha de montagem;
- Por meio da aplicação da lógica “fuzzy” no controle da linha de montagem obteve-se a redução dos tempos ociosos, estabelecendo uma melhoria na produtividade de 4%;

Portanto considera-se que a metodologia, os conceitos de manufatura aplicados e o controle do motor da linha de montagem contribuem para uma ampla e robusta melhoria do sistema de produção, seja na manufatura dos produtos montados, bem como, nas condições de trabalho e a eficiência dos montadores.

Um potencial existente ainda no processo é de estudar a linha de montagem aplicando Neurofuzzy, desta maneira os valores dos tempos montagens nas estações poderão ser ajustados automaticamente em função de possíveis evoluções nos processos, da eficiência e técnicas dos montadores.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANKS, J. Introduction to simulation. Proceedings of the Winter Simulation Conference, Atlanta, 2000.

Baudin, Michel, Lean Assembly -The Nuts and Bolts of Making Assembly Operations Flow. New York: Productivity Press. pp. 296.2002 - ISBN 1563272636.

BITTENCOURT, J. R.; OSÓRIO– “fuzzy” Logic Framework: Uma Solução Software Livre para o Desenvolvimento, Ensino e Pesquisa de Aplicações de Inteligência Artificial Multiplataforma. 2002\_ [http://www.inf.unisinos.br/~jrbitt/fuzzyf/doc/fuzzyf\\_wsl\\_02/set/2002](http://www.inf.unisinos.br/~jrbitt/fuzzyf/doc/fuzzyf_wsl_02/set/2002)

BORENSTEIN, D. Scoldss, et al - Sistema de Apoio à Decisão Aplicado ao Planejamento e Distribuição da Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos. In: XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Florianópolis-Anais de Novembro, 2004.

Carayon, P., A longitudinal test of Karasek's Job Strain model among office workers. *Work and Stress*, 7, 299-314., 1993

CHASE, Richard B.; AQUILANO, Nicholas J. - Gestão da produção e das operações: perspectiva do ciclo de vida. Lisboa: Monitor, 1995. ISBN 972-9413-25-8

COHAGURA, Tiago. Lógica “fuzzy” e suas aplicações, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) – Departamento de Computação, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

Coupland, S. Type-2 “fuzzy” Control of a Mobile Robot, Centre for Computational Intelligence De Montfort University. The Gateway Leicester. United Kingdom. 2003

COUTO, H. A. Ergonomia aplicada ao trabalho. v. I. Belo Horizonte: Ergo, 1995.

COX, Earl. The fuzzy systems handbook: a practitioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems . New York: AP Professional, 1994

DA SILVEIRA, G.; BORENSTEIN, D. FOGLIATTO, F.S., Mass customization: Literature review and research direction. *International Journal of Production Economics*, Amsterdam, v72, n.1, p 1-13, june 2001.

Daniel C. Amaral, Workshop Gestão de Projetos em Desenvolvimento de Produto ; UFRGS – PPGEP – LOPP – UFRGS; [www.producao.ufrgs.br/gedepro](http://www.producao.ufrgs.br/gedepro) 2008; siaponível em 08/fev/2012

Eduardo Massad, “fuzzy” Logic in Action, Revista Ser Médico -CRESMESP- Edição 55, 2011.

Frank Bird, Jr e George L., The Property Damage Accident: The Neglected Part of Safety FEBCO, Logan, GA ,1990.

Gerwin, D. (1993), “Manufacturing flexibility: a strategic perspective”, *Management Science*, Vol. 39 No. 4, pp. 395-410.

Gil, A.C. Como elaborar projetos de pesquisas, 3ª ed. São Paulo, Atlas, 1991

- Gordon and Pritsker, Simulation: "The technique of solving problems by the observation of the performance, over time, of a dynamical model of the system. 1978.
- GRANDJEAN, E. Ergonomics in computerized offices. Grã Bretanha: Taylor e Francis, 5. reimpressão, 1998.
- Gu, L. Web shopping expert systems using new interval type-2 "fuzzy" reasoning, College of Arts and Sciences, Georgia State University. 2005.
- HAEBISCH (apud, NOGUEIRA, s.d):
- HAEBISCH et al;Avaliação da fadiga de condições de vida e trabalho pesquisa 1984
- HARREL, Charles R.; GHOSH, Biman K.; BOWDEN, Royce. Simulation Using ProModel®. McGraw-Hill, 2000.
- Homaifar, A., Shen, Y. e Stack B. V. Vibration Control of Plate Structures Using PZT Actuators and Type II "fuzzy" Logic, Proceedings of the American Control Conference, Arlington, VA June .2001
- Huarng, K. e Yu, H. A Type 2 "fuzzy" time series model for stock index forecasting, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol. 353, P 445-462. 2005
- IIDA, Itiro. Ergonomia, projeto e produção. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2002.
- JAMSHIDI, Mohammad; TITLI, André. Applications of "fuzzy" logic, towards high machine intelligence quotient systems (Prentice Hall Series on Environmental and Intelligent Manufacturing). Oklahoma: Prentice Hall, 1997.
- JIAO; MA; TSENG. M.M, Towards high value-assed produtcts and services: mass customization and beyond. Technovation, Amsterdam, v.23, n.10,p1-12, Oct 2003
- John, R. e Lake, S., Type-2 "fuzzy" sets for modelling nursing intuition, IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference, Joint 9th, Vol. 4, 25-28 July, 2001
- John, R.I.; Innocent, P.R. e Barnes, M.R. ,Neuro-fuzzy clustering of radiographic tibia image data using type 2 "fuzzy" sets, Inf. Sci. 125, N° .1-4, p. 65-82,2000
- JUNGES, L.C.D. Introdução a Lógica Fuzzy. 2006. Disponível em: <s2i.das.ufsc.br/tikiwiki/apresentacoes/lógica-fuzzy.pdf> Acesso em: 26 Ago 2010.
- Karnik, N. N.,Type-2 "fuzzy" Logic Systems , IEEE Transactions on "fuzzy" Systems, Vol. 7, N° 6, December - 2002
- Karnik, N.N., Mendel, J.M., Liang, Q.: Type-2 "fuzzy" Logic Systems. IEEE Trans. on "fuzzy" Systems 7(6), 643–658, 1999
- Karnik, N.N., Mendel, J.M.: An Introduction to Type-2 "fuzzy" Logic Systems. Univ. Southern California Rep., 1998

- Lampel, J, Mintzberg, H “Customizing Customization”: High Variety Strategies” Academy of Marketing Science, V26, n. 1, Winter, pp 45-53.
- Law, A.M. and W.D. Kelton, Simulation Modeling and Analysis. 2ed. New York: McGraw-Hill Inc. 759 pp, 1991.
- MALUTTA, César. “fuzzy” - Método de apoio à tomada de decisão sobre adequação de aterros sanitários utilizando a Lógica Fuzzy. 2004. Disponível em: <http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/11633.pdf> em 01/09/11.
- Marcello SILVA, The RFad Method – A new fatigue recovery time assessment for industrial activities, Medicine and Health, IOS Press, Volume 41, Supplement, 2012
- Mark Friend, James Kohn - Visualização - Mais edições Loganville, GA: Institute Press. Brauer, R. L. 1990 - 2006
- Melgarejo, M. A. e Peña-Reyes, C. A, Hardware architecture and FPGA implementation of a type-2 “fuzzy” system, 4th ACM Great Lakes symposium on VLSI, Boston, MA, USA. Session: VLSI, 2004.
- Melgarejo, M., Peña-Reyes, C.A. e Garca, A., Computational Model and Architectural Proposal for a Hardware Type-2 “fuzzy” System, From Proceeding (413) Neural Networks and Computational Intelligence, 2004.
- Mendel JM - IEEE Connections, Newsletter of the IEEE Neural courses.essex.ac.uk, 2003
- Mendel, J. M. e John, R. I. B., Type-2 “fuzzy” Sets Made Simple, IEEE Transactions on “fuzzy” Systems, Vol. 10, N° 2, April 2002.
- Mendel, J.M.: Uncertain Rule-Based “fuzzy” Logic Systems: Introduction and New Directions. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, 2001
- MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. Revista Produção. [S.I.] V.17, n.1, p. 216-229, Jan/Abr. 2007.
- Monden, Yasuhiro, Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time. New York: Productivity Press. pp. 566, 2011. ISBN 143982097X.
- MORAES, A. de e MONT´ALVÃO, C. Ergonomia: conceitos e aplicações. Rio de Janeiro: 2a , 1998.
- Nigel Slack e Outros, Administração da Produção, São Paulo, Ed. Atlas, 1999
- Pegden, C.D., R.E. Shannon, and R.P. Sadowski, Introduction to Simulation Using SIMAN, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, mc. 600 pp, 1995
- Pegden, C.D., R.E. Shannon, and R.P. Sadowski, Introduction to Simulation Using SIMAN, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, mc. 600 pp, 1995

PERONI, W. J. Tempos e movimentos. Rio de Janeiro: CNI/DAMPI, 1990.

Pritsker, A.A., Introduction to Simulation and SLAM, 3rd ed. New York: John Wiley & Sons. 839, 1986.

Qiu, Y., Statistical genetic interval-valued type-2 “fuzzy” system and its application, College of Arts and Sciences, Georgia State University, 2006.

REFA\_”Normas estruturais da determinação do trabalho de trabalho - Associação para o Estudo do Trabalho e a Organização Empresarial” e “Apostila do curso MTM básico. São Paulo, 1994

SAAD, Eduardo Gabriel e outros – INTRODUÇÃO À ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO – Textos básicos para e estudantes / Fundacentro; SP; 1981

SARAGIOTO, S. R. P. e PEREIRA, W. N. A., Lógica Fuzzy Aplicada Ao Controlador de Velocidade, SEGeT, Simposio de excelência em Gestão de Tecnologia, disponível em [www.aedb.br/seget/artigos12/21516891.pdf](http://www.aedb.br/seget/artigos12/21516891.pdf), 2012

SARAGIOTO, S. R. P. e PEREIRA, W. N. A., Soluções para o Desenvolvimento do País, Volume 7 - Nº 83, ISSN - 1809-3957, 2012

SHAW, I. S.; SIMÕES M.G. Controle e Modelagem Fuzzy. FAPESP, Editora Edgard Blücher LTDA, São Paulo, 2010

SHAW, Ian S. e SIMÕES, Marcelo Godoy. Controle e Modelagem Fuzzy. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2009

Shu, H. e Liang, Q., Wireless Sensor Network Lifetime Analysis Using Interval Type-2 “fuzzy” Logic Systems, Department of Electrical Engineering. University of Texas at Arlington. Arlington – Texas – USA, 2004.

SILVA, A. L. e RENTES, A. F. , "Tornado o layout enxuto com base no conceito de mini-fábricas de produção: um estudo de caso", ENEGEP 2002.

"Stevenson Pan, Y., Stevenson, R.J., Vaithyanathan, P., Slate, J. & Richardson, C.J. 2000. Changes in algal assemblages long observed and experimental phosphorus gradients in a subtropical wetland,

USA. Freshwater Biology 44: 339-353.(2002)"

STURM, Wilerson Sturm. Avaliação do potencial de uso da lógica “fuzzy” para a identificação de indicadores de competência no currículo lattes. Curitiba, 2005. Disponível em: [http://www.ppgte.cefetpr.br/semanatecnologia/comunicacoes/logica\\_fuzzy\\_na.pdf](http://www.ppgte.cefetpr.br/semanatecnologia/comunicacoes/logica_fuzzy_na.pdf) disponível em 03/out/2012

Tan, D. W. W. W., A simplified type-2 “fuzzy” logic controller for real-time control, Department of Electrical and Computer Engineering, National University of Singapore. 2006.

Tang, M., Zhang, Y. e Zhang, G. , Type-2 “fuzzy” Web Shopping Agents, IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence (WI'04), p. 499-503. 2004.

TEIXEIRA, Cláudio; URZE, Paula; MACHADO, Tiago – Linha de montagem: um olhar sobre o trabalho compassado. Lisboa: Celta Editora, 2008. ISBN 978-972-774-257-8

UPTON, D.M.: “What Really Makes Factories Flexible?” Harvard Business Review, July-August, pp. 74-84, 1995.

Wu, H. e Mendel, J. M., Multi-category Classification of Ground Vehicles using “fuzzy” Logic Rule-based Classifiers: Early Results, Proceeding (385) Artificial Intelligence and Soft Computing, USA.2003.

Zeng, J. e Liu, Z., Type-2 “fuzzy” Hidden Markov Models to Phoneme Recognition, 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'04) – Vol. 1, p. 192, 2004

ZHANG; VONDEREMBSE; LIM, JS. Manufacturing flexibility, defining and analysing relationships among competence, capability and customer satisfaction, Journal of Operation Management;\_v.21\_2003.

## APENDICE A

### SOFTWARE ARENA – PROCEDIMENTOS E COMANDOS APLICADOS

Fonte: [www.fat.uerj.br/intranet/disciplinas/Simulacao/comandos.html](http://www.fat.uerj.br/intranet/disciplinas/Simulacao/comandos.html) (abril/2012)

- Os comandos estão listados em ordem alfabética e indexados por cores como integrantes dos painéis COMMON, SUPPORT e TRANSFER,

<u>Access</u>	<u>Chance</u>	<u>Delay</u>	<u>Exit</u>	<u>Release</u>	<u>Server</u>
<u>AdvServer</u>	<u>Choose</u>	<u>Depart</u>	<u>Free</u>	<u>Request</u>	<u>Sets</u>
<u>Animate</u>	<u>Count</u>	<u>Dispose</u>	<u>Inspect</u>	<u>Resource</u>	<u>Simulate</u>
<u>Arrive</u>	<u>Convey</u>	<u>Distance</u>	<u>Leave</u>	<u>Segment</u>	<u>Split</u>
<u>Assign</u>	<u>Conveyor</u>	<u>Duplicate</u>	<u>Match</u>	<u>Seize</u>	<u>Transport</u>
<u>Batch</u>	<u>Create</u>	<u>Enter</u>	<u>Process</u>	<u>Sequences</u>	<u>Transporter</u>

*Access:* Este comando reserva na esteira o número de células necessárias para transportar a entidade a partir da estação em que esta se encontra para a estação destino. Uma vez que a entidade chega ao módulo ACCESS, ela irá esperar até que o apropriado número de células contínuas estejam vazias e alinhadas com a estação em que se encontra. Este comando também está incorporado aos módulos de alto nível como o

*Leave. Animate:* Mostra vários elementos do sistema de maneira gráfica e automática ao longo da simulação. Utiliza as animações Variable (variável), Level (Nível), Histogram (Histograma), Plot (Gráfico). O módulo do animate é dividido em três áreas: Data Objects (Dados do Objeto), Information (Informações) e Display As (Mostrar Como). Na primeira área de dados (Data Objects) escolhe-se qual objeto do sistema que vai avaliar: Resource (Recurso), Transporter (Transportador), Conveyor (Esteira), Queue (Fila), Storage (Estocagem), Variable (Variável), Station (Estação), Count (Contador), Tally (registro), System Time (Tempo do Sistema), Other (Outros). Em seguida aparece uma lista com os objetos disponíveis. Na segunda área (Information) define-se qual informação será colhida do objeto escolhido. Por exemplo, número de entidades na fila. A terceira área (Display As) define-se qual o tipo de animação gráfica que será usada para apresentar a informação escolhida. O exemplo do número de entidades na fila pode ser apresentado como um histograma, onde as demais opções devem ser desmarcadas.

AdvServer: Existem módulos de alto nível, como o **Server**, com grande facilidade de uso, porém com pouca flexibilidade de utilização. O módulo AdvServer possui um maior detalhamento que o **Server**. Funciona de maneira análoga ao grupo **Enter - Process - Leave**. Possui um campo para a definição do Recurso a utilizar (como no **Server**) e ainda pode fazer uso de um transportador ou de um grupo de recursos (**Sets**). Este transportador fica preso ao recurso enquanto a tarefa é realizada. Isto é muito útil quando se tem um mesmo funcionário operando mais de uma máquina. Este funcionário é tratado como um **Transporter** que fica transitando entre duas máquinas, estacionado em cada uma enquanto durar o tempo de processo atribuído a ele. Outra função deste módulo é a capacidade de operar uma entidade em cima de uma esteira sem a retirada da entidade de cima desta.

Arrive: Faz a criação de entidades e envio das mesmas para um destino. Define-se a quantidade que são criadas a cada instante, o intervalo de criação, a quantidade máxima a ser criada e o destino após a criação. Podem ainda serem definidos o modo como as entidades serão transportadas, definição de atributos, figuras, seqüências, etc. Basicamente este módulo de alto nível engloba os módulos **Create, Station and Leave**.

Assign: Para alterar o atributo de uma entidade utiliza-se o módulo ASSIGN. Neste comando pode selecionar o nome do atributo e um valor. Caso o atributo ainda não tenha sido definido em nenhum lugar o comando o cria automaticamente. Um atributo da entidade que é criado automaticamente é o Picture que guarda a figura da entidade na animação

Batch: O módulo BATCH agrupa um conjunto de entidades (número estipulado pelo usuário) quando este chega em uma estação e transforma-os em uma única entidade que segue pelo sistema. As entidades aguardam em uma fila até que o número determinado de entidades esteja satisfeito. Este agrupamento pode ser permanente ou temporário. Caso seja temporário, utiliza-se o módulo SPLIT para desagrupar as entidades originais. Uma vez agrupadas, a nova entidade pode manter os atributos originais ou ainda serem definidos novos.

Chance: Quando as entidades seguem um fluxo dentro do sistema com base em dados de ocorrência, como a chegada de clientes em um banco usa-se o módulo Chance. Se observarmos um banco ao longo de um período razoável de tempo pode-se notar que uma certa porcentagem ocupa caixas automáticos, outros irão falar com o gerente e assim por diante. Pela aplicação do módulo CHANCE pode-se desviar as entidades para diferentes lógicas de acordo com

probabilidades pré definidas. Deve-se tomar cuidado que, apesar do módulo CHANCE suportar quantos itens forem necessários, a soma das probabilidades deve ser 1 e devem ser inseridas na forma decimal.

Choose: Existem situações onde as entidades precisam decidir entre fluxos diferentes, de acordo com seu atributo e seu valor. Esta escolha é feita pelo módulo CHOOSE que pode enumerar várias alternativas a escolher. Neste módulo, para cada ramificação criada é associada uma expressão condicional (muito semelhante as linguagens de programação) envolvendo parâmetros do modelo. A expressão pode assumir um valor de verdadeiro ou falso, caso falso, nenhuma entidade passará pela ramificação.

Count: O módulo Count está incorporado em diversos módulos de alto nível como o **Arrive** e o **Depart**. Ele pode ser adicionado à lógica e seu contador irá ser acrescido de um número inteiro cada vez que uma entidade passar pelo módulo. Também tem uma grande utilidade na hora de fazer um "debug" da lógica, conferindo possíveis locais com problemas.

Convey: Este comando envia a entidade para a estação de destino através da esteira. Pode ser encontrado também em módulos como o **Leave** e **Advanced Server**. O tempo de envio da entidade de uma estação para outra é definido pela velocidade da esteira (especificada no módulo **Conveyor**) e pela distância entre as estações (especificada pelo módulo **Segment**).

Conveyor: Este módulo caracteriza a esteira, definindo sua velocidade, tipo e tamanho das células. Para múltiplas esteiras deve-se colocar múltiplos módulos. Este módulo não possui figura de animação

Create: Tem a função de criar as entidades que circulam pelo sistema. (Não entra a descrição de estação). Possui parte dos comandos existentes no módulo **ARRIVE** do painel **COMMON**. Neste módulo podem ainda serem definidos atributos e seus valores. Podem ser criadas individualmente ou em lotes

Delay: Neste módulo é definido um intervalo de tempo, que pode ser utilizado de várias maneiras, como representar o tempo de ocupação de um recurso. Pode ser uma expressão matemática, um atributo ou uma variável.

**Depart:** Retirada de entidades do sistema quando não mais utilizadas e a tomada de dados estatísticos. Possui funções de contador de entidades que passaram, liberação do sistema de transporte, coleta de tempos registrados em algum lugar do modelo. É um módulo de alto nível que engloba os módulos Enter, Count, Tally e Dispose. Possui possibilidade de remover entidades das esteiras (Exit) e dos transportadores (Free).

**Dispose:** Tem como função retirar entidades do sistema. Este módulo não precisa ser editado. Possui uma equivalência ao módulo **DEPART** do painel **COMMON**.

**Distance:** Define um elemento distância entre duas estações. Para cada par de estações entre as quais o transporter deve se mover, deve existir um destes elementos. O **Transporter** assume que a distância de ida e volta é a mesma. Caso seja diferente deve-se inserir outro módulo.

**Duplicate:** Quando uma entidade precisa se desdobrar em outras utiliza-se o módulo Duplicate. Como exemplo tem-se um comprovante de cartão de crédito onde uma via fica com o cliente, outra com o estabelecimento de venda e outra com a operadora do cartão. Quando duplicadas, as entidades podem seguir caminhos diferentes porém com os mesmos atributos da entidade original.

**Enter:** Este módulo define uma estação (ou um conjunto de estações) correspondente a uma localidade física ou lógica onde um processo ocorre. A entidade pode entrar na estação por diferentes modos e quando fizer por elementos de transporte como esteiras e transportadores estes devem ser liberados.

**Exit:** A função deste módulo é liberar as células da esteira para que outras entidades possam ocupá-las. Como a esteira tem um número determinado de células, se estas não forem liberadas, irão sendo utilizadas até se esgotarem e a esteira ficará bloqueada. Nas esteiras não acumulativas, se a entidade não realizar este comando quando chegar à estação de destino a esteira irá parar. Este comando pode ser encontrado nos módulos de alto nível como **ENTER** e **DEPART**.

**Free:** Comando semelhante ao **EXIT**, porém destinado à transportadores. Quando o conjunto transportador-entidade chega à estação destino, a entidade utiliza este comando para liberar o transportador. Caso não seja liberado, o transportador fica preso à estação. Assim que é liberado

o transportador se desloca para a entidade que o aguarda em uma fila. Caso não haja entidades em fila o transportador ficará aguardando na estação que o liberou.

**Inspect:** Este módulo é similar ao **SERVER** porém possui campos que indicam a fração de entidades que passaram ou falharam em uma inspeção e permitem diferentes destinos para as entidades que passaram ou falharam.

**Leave:** Neste módulo a entidade sai da estação para outro módulo ou estação. Pode ser utilizado para requisitar a um elemento de transporte como uma esteira, um recurso ou um transportador para deslocar a entidade para a próxima estação.

**Match:** Este comando agrupa diferentes entidades provenientes de fluxos ou filas distintas para que uma operação se realize. Podem as entidades possuir um atributo distinto ou não. Como exemplo tem-se um robô que monta um conjunto de parafuso-porca-arruela. Para que o robô execute a tarefa é necessário que exista na sua estação uma entidade de cada tipo. Pode-se ainda amarrar a situação onde o conjunto de parafuso-porca-arruela tenha que ser do mesmo material, como latão por exemplo. Quando uma entidade chega ao módulo **MATCH**, esta aguarda em uma das cinco filas disponíveis (limite máximo) até que as demais entidades cheguem para serem processadas em conjunto.

**Process:** Este módulo é basicamente o módulo **SERVER** sem os comandos de entrada e saída de entidades, que necessitam ser colocadas e retiradas pelos módulos **ENTER** e **LEAVE**. Quando uma entidade chega neste módulo a entidade aguarda até que um recurso ou um transportador especificado esteja livre. Este módulo permite ainda a conexão com outras lógicas externas, ou seja, a entidade pode experimentar uma tarefa externa e só então o tempo de processo neste módulo é executado e assim seguir na lógica.

**Release:** Sua função é liberar um recurso ou um conjunto de recursos (Resource Set) que foram ocupados por outras entidades prévias para que outras possam ocupá-lo(s). Quando uma entidade passa por este módulo, a outra entidade que está aguardando em uma fila ganha o direito de utilizar o recurso liberado.

**Request:** A entidade requisita uma unidade de transporte. O transportador requisitado se dirige até a estação onde a entidade se encontra para transportá-la. Caso não haja transportador disponível, a entidade aguarda em uma fila. Neste módulo é atribuído o nome do transportador,

a estação de origem, a regra que será usada para alocar o transportador a velocidade entre outros fatores.

**Resource:** É um dos módulos chave do ARENA<sup>®</sup>, sendo efetivamente quem realiza o processo na entidade. Define as características de um recurso. Este módulo não precisa ser adicionado se optar pelas características padrões do recurso, ou se o recurso estiver dentro de um módulo de alto nível (**Server**). Este módulo anexa uma animação de recurso ao modelo, conferindo diferentes figuras para os diversos tipos de estados que o recurso pode assumir (ocioso, ocupado, etc.). Também neste módulo pode-se atribuir paradas por quebra, manutenção, almoço, baseados em contagem de entidades que por ali passaram ou por fatores estatísticos.

**Segment:** Define a distância entre a estação origem e a estação destino. Podem existir vários módulos Segment conectados e para cada conjunto deve existir um módulo Conveyor.

**Seize:** Verifica se o recurso está livre para que a entidade possa ocupá-lo. Se o recurso estiver ocupado a entidade aguarda em uma fila definida pelo módulo SEIZE. O que determina se um recurso está ocupado ou não é a sua capacidade e quanto desta está ocupada. A capacidade é definida no módulo RESOURCE. O comando SEIZE também está presente dentro de módulos de alto nível como o SERVER e Advanced SERVER.

**Sequences:** Quando em um sistema as entidades não seguem o mesmo fluxo, deve-se usar o módulo sequence. Este módulo indica que cada entidade, baseado em seu atributo, irá percorrer estações em uma ordem pré-estabelecida. Isto deve ser indicado no campo de saída dos módulos como o ARRIVE. Ao invés de usar Route indica-se Sequence

**Server:** Neste módulo são processadas as entidades, pois é a estação onde está posicionado o recurso. Define-se o nome da entidade, o nome e a capacidade do recurso, o tempo de processo e a estação de saída.

**Sets:** O módulo Sets agrupa um conjunto de recursos que atuam de igual modo. Como exemplo tem-se caixas de um banco. O cliente (a entidade) aguarda em uma fila única até que um deles esteja livre, não importa qual. O módulo SEIZE então irá ocupar o nome do Sets

**Simulate:** Destina a especificar qual será o tempo a ser simulado, quantas replicações serão feitas, se o sistema e as estatísticas serão inicializadas a cada replicação e o período de aquecimento. Fornece a animação da entidade, o título do modelo, o analista e a data.

Split: Este módulo deve ser utilizado em conjunto com o módulo BATCH quando na opção de Batch temporário. Ao passo que o módulo BACTH agrupa um determinado número de peças o módulo SPLIT os desagrupa.

Geralmente o módulo SPLIT não precisa ser preenchido, somente nos casos onde é necessário mudar o atributo da entidade após o SPLIT.

Transport :Após o transportador chegar à estação este comando direciona o transportador com a entidade até a estação de destino.

Transporter: Define as características do Transporter. Para cada tipo deve ser utilizado um módulo.



APENDICES C

Dados base do banco de dados de acidentes e incidentes – parte 1 de 2

Soma de Cd		HORA DO ACIDENTE																							Total d		
Ano2	Mês	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23	
2007	1	1				1	1	3	4	5	1	2	2	4	2	4		2	1							35	
	2				1	1	3		2	2	1	3	1	5	5	3	3	2			1		2	2		37	
	3		1				1	2	5	10	2	6	1	5	6	2	2		4		4	2	4	1	3	2	59
	4						1	1	1	2	3	3	1	6	5	2	4	4		6	2	5	6	3			55
	5	1				1	2	3	4	5	6	2	2	4	6	3	3	1	1	4	1	4	1	2	3		54
	6	2					1	2	2	4	10	3	4	6	3	4	1			6	1	1	6	1	1	1	51
	7	4		1	2	1	4	1	4	3	4	11	2	2	3	5	2	5	1	6	2	1	5	3			72
	8			1			4	2	2	6	2	1	3	3	2	3	1	3	1		3	2	2	1			42
	9			1			2	2	4	3	3	1	3	2	3	5	3	1	2	3	2	1	3	2	1		46
	10	1					1	3	2	5	5	3	1	1	5	6	1	2	3	4	3	3	1				52
	11						1	2	2	1	6	2	1	1	3	4	1	2	5	3	5	2	2				45
	12						1	1			4	2	1	4	2	5		1	3			1		3			28
2007 Total		9	1	2	4	3	15	17	27	34	56	44	21	23	41	53	30	30	26	16	33	26	18	28	19	576	
2008	1	1	1					3	7	4	7	3	1	4	2	2		4	3	7	1	2				4	56
	2					2	1	4	5	2	6	6	1	4	9	3	5	2		2	1	6	1	2	3		65
	3	1					3	1	5	10	9	2	2	4	2	4	2	6	2	4	1	3	3				68
	4				1		4	1	3	10	18	6	5	5	8	3	5	2	4	4	1	2	4	3			89
	5		2				3	3	6	12	11	2	1	1	4	3	3	4	5	1	1	2					66
	6	1	5				1	5	7	9	9	5	7	9	6	9	7	4		4	1	3					92
	7	1					1	2	4	8	3	3	1	5	7	3	1	2	2	1	2	5	4				55
	8	2	1				2	1	10	9	7	10	5		15	4	4	8	4	1	4	4	1	5	1		98
	9	1		1	1		3	4	3	4	12	13	3	1	12	2	3	7	2	5	3	3			3		86
	10	2	1				3	6	23	9	11	6			13	6	3	5	4	2	2	2	1	7	1		107
	11						2	9	4	7	3	4	4	6		1	3	1	2				4	1			51
	12	1				2	2	1	1	2	2	1	1	1		1	1										18
2008 Total		10	10	1	2	4	7	27	49	75	96	102	41	20	82	47	38	48	32	36	25	24	23	30	22	851	
2009	1			1		1	1	2	11	8	9	5	1	10	3	2	4		2	1	1	1	1	1		50	
	2					2	4	11	10	18	4	3	6	8	2	6	6		2	2	1	1	3	2		64	
	3	1					2	4	11	10	18	4	3	6	8	2	6	6		2	2	1	3	2		91	
	4		1		1	1	1	4	2	8	16	11	3	12	2	5	4		4	5	2	1	4			95	
	5	1					2	10	3	9	6	13	3		3	5		3	5					3		66	
	6	1					5	13	3	7	1	2	4	3	4	4	4	4	1	1	1	1	2	1			61
	7						3	12	6	8	5	10	2	1	3	4	3	3						1			61
	8					2	1	7	1	3	10	2	3	9	2	1	3	1	4				1	3	4		57
	9			1			3	3	4	9	11	6	1	5	3	4	5	1	4	3			1	4	3		71
	10				1		1	2	8	6	13	20	4	1	3	2	2	6	2	3	2	6		4	2		88
	11	2					5	2	4	5	10	9	3	3	10	2	4	11	3	2	3			5	2		85
	12		1				1	4	3	5	3	1		3	2	3		1	1	2	3	2	2	2			39
2009 Total		6	1	3	1	3	13	44	49	86	85	139	46	18	70	38	31	51	21	31	20	15	13	32	12	828	
2010	1					2	3	5	2	11	5		3	2	5	2	3		2	3	4	1	3	1		57	
	2	1		2		2	1	7	8	2	6	25	1	1	5	6	1	5		3	3		2	3	2	86	
	3	1				2	2	5	4	11	14	13	5	3	6	8	2	7	3	5	1	2	4	3	4	105	
	4	1				2	3	8	13	22	24	4		10	15	7	9	1	2	4	1	4	5	3		138	
	5	1					7	5	24	18	17	3	4	6	12	1	9	1		8	3	3	2	2		126	
	6	1				2	2	6	7	9	8	10	6	3	4	13	6	3	3	1	1	1	3	3	3		95
	7		1	4	1	1		2	5	12	10	9	1	4	7	6		5	6	4	3		3	3		84	
	8	1	1				2	6	10	6	8	1	2	4	9	10	7	3	4	3	5	3	3	2			90
	9			1			2	6	4	6	14	9	2	7	11	6	11	16	2	6	4	3	1	4	2		117
	10	3		1	1		1	2	3	13	13	6	2	3	3	6	3	13	6	5	1	1	1	4	2		93
	11		1			1		3	4	7	6	5	3	2	4	12	6	10	1	2	4	2	1	2			76
	12					1	3	2	7	3	6	4	1	2	3		1	1	1	2			1	1			39
2010 Total		9	3	8	2	8	13	49	61	116	131	137	32	29	61	102	55	83	26	37	38	25	24	35	22	1106	
2011	1	2				10	5	6	5	7	2	2	3	5	6	5	5	9	3	2	1	2				80	
	2	2			1	1	8	6	16	3	9	2	7	15	7	3	3	2	2	3	5	2	2	8		107	
	3	1			1		3	4	9	14	8	7	4	3	12	3	8	7	3	4	3	1	4	2		100	
	4	1				2	3	12	7	6	8	4	1	7	3	2	6	1	7	3	1	6	6	5		91	
	5			2	1		2	12	10	17	8	3	2	11	7	1	6	2	6	6	2	2	4	2		106	
	6	2	2		1	1	1	9	2	4	7	6	4	8	10	3	2	7	4	5	2	1	2	5	3		91
	7				4	2	2	4	10	10	16	9	3	3	5	4	3	4	9	6	6	4	3	1	4		112
	8				1		2	7	9	14	16	19	3	1	6	3	6	3	3	1	5	2	3	4	2		110
	9	4	1	1	1	2	1	16	7	16	12	12	3	4	5	3	4		2	10	10	1	4	3	2		124
	10	2	3		2		2	4	11	10	10	6	4	2	6	5	3	5	2	1	3	4	6	3	2		96
	11	4			3	2		6	1	5	6	8	3	4	2	6	4	3	4	3	1	2	1	8			76
	12	1				1	4	2		2	5	2	2					5	1	8	3	2		4	2		44
2011 Total		18	6	3	15	8	14	77	86	112	108	104	35	39	84	49	42	54	38	62	48	27	30	46	32	1137	
2012	1					2	4		1	4	7	3	1		1											32	
	2	2	1	1	1	3	3	8	7	11	9	14	1	2	4	9	3	4	4	1	2		2	2	3	97	
	3	1		1	1		4	3	2	8	6	8	1	6	11	11	5	4	2	1	7	2	3	2	1	90	
	4			1	1		1	2	4	4	4	3		2		2	1	1	1			3	1	1		32	
	5			1	2		4	3	2	1	6	2	2		3	3	5	1	1	1		3				42	
	6						1	5	4	11	11	15	1	4	10	2	6	2	6	1	1	1	1	1	1		84
	7	1					1	11	8	4	10	14	3	1	9	11	8	1	2	1	3	2				94	
	8	1					2	4	11	5	9	18	11	3	12	6	4	3	4		2	4	1	7	1		108
	9						2	3		9	5	2	3		1	3	1	2	3	1							35

## Banco de dados de acidentes e incidentes – parte 2 de 2

Soma de		H																							Total		
Ano2	Mês	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
2002	1							1	2	4	5	2	1	2	5	2	1		1							1	27
	2							1		1	4	2	3	1	2	3	3				2	4					26
	3							1	2	4	1	5		3	3	2	1	1	1	2		1	3		2	32	
	4			1				1	5	2	6	4	2	1	3	2	1	1	3			1		1		34	
	5					1		2	3	4	2	5	2	2	5	5	1	2	1	3		1		1	1	41	
	6							1	1	3			1	2	2	6	1		2		2	1				1	23
	7							4	3	2	6	5	1	2	4	4	1	1	1			1			1	1	36
	8						1	4	3	4	3	2		1	2	8	1		2	1	3		1		1	1	37
	9							1	1	3	5			2	1	3	1	1	1	3		3			1		26
	10							2		4	1	3	4		2	6		1	1	1					1	1	27
	11							2	2	1	2	3			4	3	5	3		2	2	2	1	2		1	34
	12						1		1		2	3				1	1		1			1				2	12
2002 Total				1		1	2	20	23	32	37	35	15	14	33	45	16	11	10	15	9	15	5	9	7	355	
2003	1							1	4	6	5	3	1		8	3		5	5		2	2		1		46	
	2				1			2	5	4	7	5	1	1	2	3	3	1	2	2	2			1	1	43	
	3							3	1	3	1	7		1	3	9		1			1	1	1	1	1	33	
	4							3	2	1	5	5		1	4	4	1		1	1	1			1		30	
	5						1	2	4	3	3	4	3	1	2	2		3				1				29	
	6							2	1	3	8	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1			1	1	30
	7							3	1	2	3	7	2	1	3	3	1	2	3	1	2		2		1	1	37
	8							3	3	2	1	7	1	2		1	1		2		3		1				27
	9						1		2	3	6	5	2	2	1	4	2	1			1	4		1			35
	10						1		1	1	2	5	1		3	1		1	2	1	4					1	24
	11	1						4	2	1	2	5	1		2	4	3		2	1	1	1	1	2	1	1	32
	12		1					1	1	1	1			2		5	3	2	1		1	1			2	2	24
2003 Total		1	1		1		3	20	29	31	43	55	16	10	35	38	15	16	18	8	19	9	6	8	8	390	
2004	1					1		1	2	2	2	2	4	2	2		1	1		1	1			1	1	24	
	2						2	2	1		1	2	3	1	1	4	4	1		2	1					25	
	3	1				2	1	4	3	1	1	4	4	1	4	3	1	5		1		1	1	1		39	
	4						3	1	3	2	3	1			2	3	1		1			4	2			26	
	5	1						1	1	3	6	3	2		4	3	3		3	1	1	8		1		41	
	6	1				2	1	2	3	3	3	4	4	2	5	3	2	3	2	3	1	2		1	1	45	
	7	1					1		3	1		1		1	2		1	2	4	1	1	2	1	3	1	26	
	8					1	1	1	3	1	3	3		1	1	1	2	3	1	1	4	1		2	3	33	
	9							2	3	2	7	3	2		6	4	1	2		1			1			34	
	10	1					2	1	2	2	3	4		4	2	3	2		1			2		2	7	38	
	11							1	2	1	3	3	1	2	2	6	3	2		3	3	2		2	1	37	
	12	2								1	1	3			4	2		1		3	1			1		19	
2004 Total		7				6	11	16	26	19	33	33	20	18	33	30	22	19	15	13	13	20	6	14	13	387	
2005	1	1						2	2	5	3	6	2	2	2	4	1	1	2	3					4	40	
	2		3	1		1	1	5	1	4	8	7	3	2	1	8	2	1		1	1			4	1	55	
	3		1	1	1		1	1	2	2	4	3	1	1	6	4		3	2	2	3	1		3	1	43	
	4	1	1					3	2	4	6	3	2		2	3	3	1	1	1	4		1	1	5	44	
	5	2	2	1				2	4	1	2	5			2	4	1	5	7	1	2		1	2	2	44	
	6	2	2	1		3		1	2	3	5	5			6	1		1	5	2	1			3		43	
	7	5	1					2	4	1	1	3	2		2	2	2	3	1	3		2		4	2	40	
	8	1			1			2	5	5	5	4	1	1	3	3	5	3	2	2	2	1	1	4	2	53	
	9					1		2	2	2	1	5	2		7	1	3		2	2	1		1	1	3	34	
	10		1					2	2	5	3	3		1	1	7	1	2	1	4	2	2		1	3	41	
	11	1				3		1	3	2	6	6	2	2	6		3	4		1	2				2	44	
	12			1				1	1		2	2	2			4	1		1	1			1	2	1	20	
2005 Total		13	9	5	2	8	2	24	30	34	46	52	17	9	31	47	20	27	22	23	18	6	5	25	26	501	
2006	1		1	1				3	3		1	2			1	5	3	1	2	2		1		2	4	32	
	2	2		1			1	1	6		4	5	3		1	3	3	2	3	2			3		40		
	3			1		1	5	1	8	5	5	5	1	1	2	6	3	2		4	2		2	2	7	63	
	4		1	1		1	1	1	6	2	8	5	2	1	2	5	4	4	2	2	7	2	2	5	3	67	
	5		1			1	2	3		3	1	3			4	1	2	3	1	5	3	1	1	3	1	39	
	6			1	2			4	5	2	1	5	3	1	1	5	2	5	1	2	1	1	1	1	2	3	48
	7			1	2	2	2	2	3		9	8	2	2	4	2		1	1	3	1	4	2	1		52	
	8	1	2	1			2	2	1	1	2	4		1	5	5	3	1	3	4	3	4	2	1	1	49	
	9			2				6	1	4	6	2	5	3	3	6	5	4		2				1	2	52	
	10	1	1		3			1	4	4	4	1	2		1	3	2	3	2		2	1	1	2	1	35	
	11	2		2	1			1	2	3	4	2	1	1		4	4	4		2	2		2			37	
	12		2		1	2	1		1	2	1	5			1	1	1		2	1	1				2	24	
2006 Total		6	8	11	9	7	14	18	42	23	44	51	16	12	25	43	33	31	21	27	24	14	13	22	24	538	
Total		27	18	17	12	22	32	98	150	139	203	226	84	63	157	203	106	104	86	86	83	64	35	78	78	2171	

## APENDICE D

### Pesquisa de linhas de montagens no setor automobilística nacional

Levantamento de linha de montagem no setor automotivo nacional junto aos sites dos fabricantes. Apesar de algum fabricante não publicarem é reconhecido à instalação em função do produto produzido e do processo, esse estão indicados na tabela com base em avaliação da estimativa de especialistas da área de manufatura.

NEGÓCIO	EMPRESA	Montagens: Leves - Pesados	Montagens: Extra Leves	Montagens: Chassis	Montagens de Cabine	Montagens e complementações de Motores	Montagens e complementações de Eixos	Montagens e complementações de Câmbios
Caminhões	AGRALE	-	1	-	1	-	-	-
Automóveis	CHERY							
Caminhões	DAF		*1					
Automóveis	FIAT		*1		*1	*1		
Automóveis	FORD		1	-	1	-	-	-
Caminhões	FORD	1		-	1	-	-	-
Automóveis	GENERAL MOTORS		*3					
Automóveis	HYUNDAI BRASIL		*1					
Automóveis	HYUNDAI-CAOA		*1					
Automóveis	HONDA	1	-	-	-	1	-	-
Automóveis	JAC MOTORS BRASIL	1						
Caminhões	IVECO	1	2	-	1	-	-	-
Caminhões	FTP - FIAT	-	-	-	-	1	-	-
Caminhões	INTERNATIONAL	1	-	-	-	-	-	-
Caminhões	MAN LA	-	2	1	2	-	-	-
Caminhões	MERCEDES-BENZ	3	-	1	2	4	5	2
Automóveis	MITSUBISHI MOTORS	1						
Automóveis	PSA PEUGEOT CITROË	1						
Automóveis	RENAULT	1						
Automóveis	NISSAN	1						
Caminhões	SCANIA	1	-	1	1	1	1	1
Automóveis	TOYOTA	1						
Automóveis	VOLKSWAGEN	1						
Caminhões	VOLVO	1	-	1	1	1		
Caminhões	CUMMINS	-	-	-	-	2	-	-
Agregados	MWM	-	-	-	-	2	-	-
Agregados	MERITOR	-	-	-	-	-	2	-
Agregados	DANA	-	-	-	-	-	1	-
Agregados	SIFCO	-	-	-	-	-	2	-
Agregados	ZF							2
Agregados	EATON							2
Agrícolas	AGCO		1					
Agrícolas	AGRALE		1				1	
Agrícolas	CASE		1				1	
Agrícolas	JOHNDEERE		1					
Agrícolas	NEW HOLLAND		1					
Agrícolas	VALTA		1					

(\*) Avaliações efetuadas com base nos processo de manufatura