

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA - ITEC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**RUY SIDNEY NASCIMENTO DOS SANTOS**

**ENSAIOS MECÂNICO E APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY PARA AVALIAÇÃO  
DO CANOTE DO GARFO**

**Belém - PA  
2010**

**RUY SIDNEY NASCIMENTO DOS SANTOS**

**ENSAIOS MECÂNICO E APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY PARA AVALIAÇÃO  
DO CANOTE DO GARFO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica com ênfase em Processos Industriais.

**Orientadora:** Prof.<sup>a</sup> Dra. Marlene Araújo de Faria

**Belém - PA  
2010**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA - ITEC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**RUY SIDNEY NASCIMENTO DOS SANTOS**

**ENSAIOS MECÂNICO E APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY PARA AVALIAÇÃO  
DO CANOTE DO GARFO**

**DEFESA DO MESTRADO**

Esta Dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Elétrica na Área de Concentração em Processos Industriais do Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará – ITEC - UFPA.**

Belém – PA, 04 de Setembro de 2010

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. José Antônio de Souza Silva - UFPA  
Coordenador do CMPPI

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Marlene Araújo de Faria  
Orientadora – UEA

---

Eng. Jandecy Cabral Leite  
ITEGAM

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Roberto Célio Limão de Oliveira  
UFPA

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Ricardo Alfonso Blanco  
UEA

### **Dedicatória**

A meus Pais, Ruy Chagas e Antônia por sempre me apoiarem, minha esposa Raquel pelo seu companheirismo e as minhas filhas Larissa e Melissa, que possam seguir o exemplo desta conquista.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus acima de todas as coisas, sem o qual não teria conseguido terminar este mestrado e dissertação, a meus pais pelos valores éticos e morais que me foram ensinados desde minha infância e que sempre acreditaram em mim.

A professora Marlene Araújo de Faria pela orientação, competência, paciência e dedicação para esta dissertação.

Ao coordenador do curso professor Claudio Blanco pela oportunidade concedida à realização deste Curso de Mestrado Profissional em Processos Industriais/ CMPPI, pela Universidade Federal do Pará – UFPA.

Aos professores do Curso de Engenharia de Processos Industriais Ênfase Engenharia de Produção da UFPA/ITEGAM, em especial, Jandecy Cabral, Marlene Araújo, Claudio Blanco e Carlos Tavares pela grande contribuição na minha formação.

Aos funcionários do ITEGAM Elcimar e Jacira pela compreensão e apoio nos momentos mais precisos.

Ao diretor do Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia – ITEGAM Jandecy Cabral Leite, sem o qual não seria possível a realização do curso.

A Universidade Federal do Pará – UFPA, pela oportunidade a nos concedida e de acreditar no potencial do povo Amazonense.

***Epigrafe***

*“A verdadeira sabedoria está  
em fazer a vontade de Deus”*

*Ruy Sidney*

## RESUMO

A inovação tecnológica tem sido um dos fatores fundamentais que levam grandes empresas a permanecerem no topo do ranking mundial do mercado globalizado, de acordo com o avanço tecnológico o setor de engenharia tem buscado soluções que ofereçam resultados positivos em prol do crescimento de sua empresa ou organização. Métodos de simulação para avaliação do comportamento mecânico de produtos submetidos a cargas estáticas e cargas dinâmicas são extremamente necessárias para redução dos custos de fabricação dos produtos. O uso de ensaios mecânicos e virtuais é de vital importância para avaliação do produto. O presente trabalho teve como objetivo a utilização da lógica *fuzzy* em um produto chamado canote do garfo da bicicleta, onde foi analisado além do grau de pertinência variado entre 0 e 1, o grau de veracidade também variado entre 0 e 1, tendo como foco principal o comportamento do produto canote do garfo e sua validação.

**Palavras-chave:** Lógica *Fuzzy*. Validação. Canote do Garfo.

## **ABSTRACT**

Technological innovation has been one of the fundamental factors that drive major companies to stay atop the world ranking of global market, according to the technological advance the engineering sector has sought solutions that provide positive results for growth of your company or organization. Simulation methods for evaluating the mechanical behavior of products subjected to static loads and dynamic loads are extremely necessary to reduce the costs of manufacturing products. The use of mechanical and virtual is vital in evaluating the product. This study aimed to use fuzzy logic in a product called seatpost of the bicycle fork, where it was considered beyond the degree of membership varied between 0 and 1, the degree of accuracy also varied between 0 and 1, with the main focus of the behavior of the fork and seatpost product validation.

**Key Words:** Fuzzy Logic. Validation. Seatpost Fork.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Desenho Técnico do Canote do Garfo	28
<b>Figura 2</b>	Molde do Quadro	29
<b>Figura 3</b>	Role Inferior do Quadro	29
<b>Figura 4</b>	Canote do Garfo Acoplado ao Quadro	30
<b>Figura 5</b>	Ajustes da Máquina de Ensaio	30
<b>Figura 6</b>	Ajustes Finais para o Ensaio	31
<b>Figura 7</b>	Realizações de Impacto dos Ensaios	31
<b>Figura 8</b>	Ensaio de Impacto Contra o Conjunto	33
<b>Figura 9</b>	Ensaio de Mecânico do Conjunto Quadro e Garfo	34
<b>Figura 10</b>	Sistema Fuzzy	39
<b>Figura 11</b>	Variáveis de Entrada da Bucha e Corpo do Canote do	40
<b>Figura 12</b>	Variável de Entrada da Bucha	41
<b>Figura 13</b>	Variável de Entrada do Corpo do Canote	41
<b>Figura 14</b>	Saídas das Variáveis de Validação	42
<b>Figura 15</b>	Saída do Sistema de Sequenciamento	49

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Relatório de Inspeção Processo Soldagem	22
<b>Tabela 2</b>	Resumo dos Resultados	23
<b>Tabela 3</b>	Medidas do Tubo Industrial de 1 de Polegada	27
<b>Tabela 4</b>	Medidas do Tubo Industrial de 1 ¼ Polegada	27
<b>Tabela 5</b>	Condições para Validação do Canote do Garfo	38

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>1.1 IDENTIFICAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO</b> .....	14
<b>1.2 OBJETIVOS</b> .....	15
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....	15
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	15
<b>1.3 CONTRIBUIÇÃO E RELEVÂNCIA DO ESTUDO</b> .....	15
<b>1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA</b> .....	16
<b>1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA</b> .....	16
<b>CAPÍTULO 2 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	18
<b>2.1 METODOLOGIA DA PESQUISA</b> .....	18
<b>2.1.1 Especificação do Problema da Pesquisa</b> .....	18
<b>2.1.2 Caracterização da Pesquisa</b> .....	19
<b>2.1.3 Métodos e Técnicas Aplicadas e Coleta de Dados</b> .....	19
<b>2.2 NATUREZA DA PESQUISA</b> .....	20
<b>2.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA</b> .....	21
<b>2.4 OPERACIONALIZAÇÃO DA PESQUISA</b> .....	23
<b>CAPÍTULO 3 – DESCRIÇÃO DO CANOTE DO GARFO DA BICICLETA</b> .....	25
<b>3.1 DESCRIÇÃO TÉCNICA DO CANOTE DO GARFO</b> .....	26
<b>3.2 ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL</b> .....	26
<b>3.3 EQUIPAMENTO</b> .....	28
<b>3.3.1 Descrição da máquina</b> .....	28
<b>3.4 ENSAIO DE IMPACTO CONTRA CONJUNTO</b> .....	32
<b>3.5 ENSAIO DE QUEDA AO CONJUNTO QUADRO E GARFO</b> .....	33
<b>CAPÍTULO 4 – SISTEMAS FUZZY</b> .....	35
<b>4.1 LÓGICA FUZZY</b> .....	35
<b>4.2 OPERAÇÃO COM CONJUNTOS FUZZY</b> .....	36
<b>4.3 APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY NO CANOTE DO GARFO</b> .....	37
<b>4.4 A MODELAGEM DO SISTEMA FUZZY</b> .....	38
<b>4.4.1 Fuzzyficação</b> .....	39
<b>4.4.2 Inferência</b> .....	40
<b>4.4.3 Defuzzyficação</b> .....	42
<b>CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE CASO E RESULTADOS</b> .....	43

<b>5.1 MODELAGEM DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO CANOTE DO GARFO</b> .....	43
<b>5.2 RESULTADOS - PARTE I</b> .....	44
5.2.1 Simulação de ensaios mecânicos .....	44
5.2.2 Coleta de dados – PARTE I.....	44
5.2.3 Procedimento de ensaios – PARTE I.....	44
5.2.4 Resultados dos ensaios mecânicos realizados – PARTE I .....	45
<b>5.3 RESULTADOS - PARTE II</b> .....	45
5.3.1 Simulação de ensaios da lógica fuzzy.....	45
5.3.2 Coleta de dados - PARTE II .....	46
5.3.3 Procedimento de ensaios - PARTE II.....	47
5.3.4 Resultados dos ensaios fuzzy realizados - PARTE II.....	47
<b>5.4 ANÁLISE DE RESULTADOS</b> .....	48
<b>5.5 DISCUSSÃO</b> .....	50
<b>CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	51
6.1 CONCLUSÕES .....	51
6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	52
6.3 PUBLICAÇÕES ORIUNDAS DO TRABALHO .....	52
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	53

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Vivemos em um século onde a tecnologia avança de forma acelerada visando melhorar e atender cada vez mais as necessidades, tanto das empresas como de seus clientes e colaboradores. Partindo desse princípio, a engenharia de processos industriais passa a ocupar um papel fundamental mediante a tecnologia, por isso, os produtos desenvolvidos no Pólo Industrial de Manaus a cada momento passam por mudanças contínuas visando à qualidade e preço, diminuindo com isso os custos ao longo dos anos.

Através dessa linha de raciocínio, a inovação tecnológica torna-se um fator fundamental na produção e avaliação de um produto e processo do mesmo, surgindo com isso um grande desafio para um produto como o canote do garfo da bicicleta. Porém, o desafio leva em conta que além da qualidade exigida, deve-se diminuir também o custo do processo e produto para então se ganhar mercado local visando o cenário mundial.

A qualidade de um serviço ou produto é o maior fator responsável pelo sucesso e garantia de sobrevivência do mesmo no mercado de trabalho, onde cada vez mais as empresas e organizações travam uma luta contínua em busca de qualificação tanto para seus funcionários e colaboradores como máquinas e equipamentos. Com isso, a tecnologia da informação tem desempenhado um papel fundamental neste processo tecnológico e inovador, que através de programas e *softwares* como o MatLab 7.0 utilizado como ferramenta de apoio para a Lógica *Fuzzy* nesta dissertação, desencadeou os recursos necessários para conclusão da pesquisa feita.

A engenharia de *software*, além de desenvolver programas necessários oferece diversos recursos a uma empresa ou instituição no que diz respeito à Informática, suprindo às necessidades em diversas áreas existentes, sejam administrativas, financeiras ou produtivas, seja no ramo industrial ou comercial o objetivo é sempre o mesmo, a satisfação do cliente. No entanto, quando pensamos em um serviço ou um produto que será oferecido ao mercado ou cliente, devemos analisar diversos fatores que estarão envolvidos neste processo, e um deles é a qualidade.

A qualidade é responsável pela garantia do produto, por isso, foi utilizado na Lógica *Fuzzy* o MatLab 7.0, ou seja, um programa de *software* interativo de alta performance voltado para o cálculo numérico.

Através dos cálculos numéricos necessários para os resultados obtidos, a fase de testes mecânicos do produto canote do garfo junto com a metodologia, foram responsáveis por alcançar o objetivo esperado do produto, por meio da análise e desempenho do mesmo, tendo como resultado o sucesso de sua aprovação.

Após a fase de simulação, o grau de pertinência e veracidade confirmou se a matéria prima utilizada na composição física da peça foi a mais viável ou não, oferecendo assim precisão e confiança para a empresa responsável pela fabricação do produto canote do garfo da bicicleta.

O processo de produção industrial de um produto é sempre responsável pela qualidade e confiabilidade do mesmo, deixando assim, o produto pronto para ser inserido e comercializado no mercado competitivo.

A engenharia de processos industrial, focada a engenharia de produção tem ocupado um papel fundamental no desenvolvimento da fabricação do canote do garfo, a escolha da metodologia e ferramentas a serem utilizadas neste processo é que fazem a diferença no resultado final. Por isso, quando se pensa em avaliar um produto, a primeira coisa levada em conta é justamente a qualidade e segurança do mesmo, então os meios nesse caso justificam os fins, mas que meios são esses? Será que realmente existe uma boa preparação para a justificativa do produto final?

Essas e outras perguntas muitas das vezes ficam martelando em nosso raciocínio lógico. Nos dias de hoje, a maioria dos fornecedores de determinados produtos não conseguem subsistir no mercado de trabalho em virtude de não estarem preparados para o novo, e com isso, continuam no sistema antigo de trabalho achando que será possível continuar dessa maneira arcaica e ultrapassada.

A qualificação, então deve ser vista como um fator primordial que levará a empresa a permanência e sucesso diante de seus concorrentes, onde sai na frente aquele que está preparado para o que há de mais moderno e avançado no mercado, em termo de tecnologia, *softwares*, treinamentos e etc.

A utilização de máquinas, equipamentos e ferramentas, juntamente com a tecnologia da informação, mas precisamente voltada à área de engenharia de *software*, são responsáveis pela avaliação do produto canote do garfo podendo

contar com o que há de mais avançado em termos de ferramentas computacionais, como o MatLab 7.0 e a Lógica *Fuzzy*, mostrando assim, que a precisão estará sempre presente no termo qualidade.

## 1.1 IDENTIFICAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

O produto canote do garfo tem sido comercializado mundialmente por ser um produto essencial para o conjunto quadro e garfo da bicicleta, onde após a montagem o mesmo fica acoplado. O produto é dificilmente fabricado em âmbito local, devido à falta de fornecimento tanto de matéria prima quanto de mão de obra, a qual comparada ao maior exportador do Mundo, a China, não há possibilidade de concorrência, pois o custo e a qualidade são imbatíveis.

Os desafios são grandes, porém somente serão vencidos se houver persistência. A segurança na tomada de decisões parte do princípio do conhecimento quer sejam produtivos, tecnológicos ou qualitativos, o foco sempre é o mesmo, a superação com sabor de sucesso.

A Indústria Automobilística do Pólo de Duas Rodas – Bicycletas têm obtido crescimento cada vez maior, gerando a possibilidade da criação de novos fornecedores voltados para este segmento. O aquecimento no mercado gerou o desenvolvimento desta dissertação, que através de um estudo de caso realizado na fábrica de bicicletas, foi analisado a necessidade de implantação de outras ferramentas para auxiliarem na avaliação dos produtos desenvolvidos, dos quais, o canote do garfo é o nosso produto escolhido.

Atualmente a China tem sido o principal fornecedor da empresa visitada, e a responsável diretamente pela demanda do canote do garfo na região, porém aliado a tecnologia da informação e de posse dos recursos necessários, o objetivo será atingido.

Em se tratando de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), o projeto de fabricação e avaliação de expansão do canote do garfo trará para o Pólo Industrial de Manaus um produto inovador, passando a ser produzido no mercado local. Através dos colaboradores e funcionários envolvidos nesta empreiteira, o crescimento da empresa será consequência devido à criação de novos postos de trabalho, gerando com isso renda tanto para a empresa como para o governo.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

- O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um estudo teórico e experimental para o protótipo do produto canote do garfo observando a avaliação e desempenho aplicado na produção de bicicleta de uso geral.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar as normas técnicas para o dimensionamento do canote do garfo;
- Avaliar as especificações da matéria prima utilizadas no canote do garfo a partir das simulações desenvolvidas com o *software* MatLab 7.0;
- Avaliar a resistência mecânica dos protótipos do canote do garfo através dos ensaios realizados;
- Definir os métodos e o processo produtivo para a confecção dos protótipos;
- Avaliar os resultados obtidos nos ensaios mecânicos realizados nos protótipos.

## 1.3 CONTRIBUIÇÃO E RELEVÂNCIA DO ESTUDO

O seguinte estudo realizado mostrou a importância das atividades feitas em prol da obtenção da avaliação do canote do garfo, onde os processos ao qual o produto passou de alguma forma agregaram valores na avaliação do mesmo.

De acordo com o estudo de caso desenvolvido na fábrica de bicicletas, ficou provada a eficiência no processo de teste e validação do produto, após o mesmo ser soldado ao quadro da bicicleta. Alguns fatores foram também levados em consideração como a matéria prima utilizada na confecção do produto, o fornecimento de máquinas e equipamentos e a mão de obra empenhada no processo.

A contribuição deste estudo agregou valores nos mais diversos campos do conhecimento tecnológico, mecânico, industrial e principalmente virtual. A qualificação do conhecimento humano apesar de sua limitação gerou bastante relevância ao estudo, pois no decorrer do processo houve crescimento tanto no sentido humano como tecnológico frente ao desafio encontrado.

#### **1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA**

Através da parceria firmada com os colaboradores da empresa visitada o estudo pode alcançar o destino esperado, juntamente com uma equipe de profissionais das mais diversas áreas do conhecimento industrial. Os valores inseridos neste trabalho foram muito gratificantes para todos que de alguma forma participaram direto ou indiretamente dele, é muito importante ter essa parceria no que diz respeito às ferramentas usadas durante o decorrer da pesquisa.

Portanto, a visão do estudo foi delimitada aos ensaios realizados com o produto canote do garfo bem como sua avaliação diante dos recursos utilizados como a matéria prima, máquinas e mão de obra qualificada.

Assim sendo, a fábrica embasada na metodologia utilizada, teve como fator fundamental a redução dos custos, transporte e qualidade do produto desenvolvido no mercado local.

#### **1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA**

Após a delimitação e metodologia analisada, o presente estudo foi dividido em 6 capítulos assim constituídos:

**Capítulo 1** – É composto pela parte introdutória, dissertando o problema a ser resolvido, como sua justificativa, seu objetivo geral e específico bem como a delimitação da pesquisa seguida da estrutura da mesma.

**Capítulo 2** – É apresentado à fundamentação teórica da avaliação do canote do garfo, como a revisão da literatura e o estado da arte.

**Capítulo 3** – Apresenta a metodologia aplicada à pesquisa, destacando a especificação do problema, caracterização da pesquisa, participantes e observação, coleta e análise de dados.

**Capítulo 4** – É a aplicação da Lógica *Fuzzy* do estudo de caso do produto canote do garfo, metodologia, modelagem do sistema fuzzy, fuzzyficação, inferência, defuzzyficação, análise de resultados, discussão e conclusões.

**Capítulo 5** – Apresenta o estudo de caso realizado.

**Capítulo 6** – Neste último temos a conclusão, recomendações para trabalhos futuros, publicação oriunda do trabalho e referência que podem ser usadas para outros trabalhos.

## **CAPÍTULO 2 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos metodológicos utilizados no decorrer da pesquisa, tendo como foco central a utilização dos ensaios mecânicos bem como a aplicação da Lógica *Fuzzy* para avaliação do produto canote do garfo da bicicleta.

### **2.1 METODOLOGIA DA PESQUISA**

#### **2.1.1 Especificação do Problema da Pesquisa**

Para o desenvolvimento desta dissertação foi criada uma parceria do fornecedor Produfer Comércio de Ferramentas Ltda. e uma empresa que atua no Pólo Industrial de Manaus (PIM) de Duas Rodas, cujo foco é a fabricação de bicicletas.

Os dados levantados foram baseados na quantidade de experimentos feitos de acordo com as normas NBR 5426 (1985) – NIRIO. Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos - Procedimento. RC: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas e NBR 5427 (1977) – NIRIO. Guia para utilização da norma NBR 5426 planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos - Procedimento. RC: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, com o produto canote do garfo acoplado ao quadro da bicicleta.

Através de um experimento realizado na peça canote do garfo, os ensaios mecânicos foram observados, servindo como base para a análise comportamental do produto e aplicação da Lógica *Fuzzy*. Todos os testes foram realizados com base na NBR 14714 (2001) – Veículos de duas rodas - Bicicleta - Conjunto quadro e garfo Requisitos de segurança.

Através do impacto de força 70kg contra o conjunto em questão cujo objetivo foi de analisar se o canote do garfo sofreria ou não ruptura, tanto os ensaios mecânicos como os virtuais tiveram como objetivo geral a aprovação ou reprovação do produto canote do garfo.

### 2.1.2 Caracterização da Pesquisa

Para a realização dos testes virtuais utilizados pela lógica fuzzy, foi criado o sequenciamento de regras. Através de um experimento realizado na peça canote do garfo, os ensaios mecânicos e virtuais foram observados, servindo como base para a análise comportamental do produto. Todas as simulações foram realizadas com base em três etapas da lógica fuzzy: a fuzzyficação, inferência e defuzzyficação.

A descrição da lógica fuzzy foi baseada na teoria dos conjuntos fuzzy. Tradicionalmente, uma proposição lógica tem dois extremos: ou é 'completamente verdadeiro' ou é 'completamente falso'. Partindo desse princípio, os dois extremos utilizados na preposição lógica foram: ou está 'completamente aprovado', ou está 'completamente reprovado'.

Entretanto, na lógica fuzzy, uma premissa varia em grau de verdade de 0 a 1, o que leva a ser parcialmente aprovado ou parcialmente reprovado. O funcionamento de controle da lógica fuzzy foi executado imitando um comportamento baseado em regras ao invés de um controle explicitamente restrito a modelos matemáticos como equações diferenciais. O objetivo da lógica fuzzy foi de gerar uma saída lógica a partir de um conjunto de entradas não precisas, com ruídos ou até mesmo faltantes.

Então, através das variáveis de entrada e do comportamento baseado no sequenciamento de criação de regras, foi possível observar a aprovação ou reprovação do produto canote do garfo por meio da geração de saídas lógica, alcançado com isso o objetivo do estudo.

### 2.1.3 Métodos e Técnicas Aplicadas e Coleta de Dados

A pesquisa foi realizada por meio de um estudo de caso, cujo objetivo foi de observar o comportamento do canote do garfo e sua avaliação através da lógica fuzzy, tendo como ferramenta de apoio o *software* MatLab 7.0.

As informações inerentes a coleta de dados estão inseridas e baseadas no procedimento de ensaio - NBR 14714 (2001) – Veículos de duas rodas - Bicicleta - Conjunto quadro e garfo Requisitos de segurança.

Em se tratando de um estudo experimental foi adotada uma metodologia voltada ao setor de pesquisa e desenvolvimento, através de ensaios mecânicos

realizados nos protótipos foram avaliados os resultados obtidos pelos mesmos, levando em consideração a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como Fórum Nacional de Normalização.

De acordo com esta Norma, foram estabelecidos os requisitos de segurança para o conjunto quadro e garfo utilizados em bicicletas de uso geral, com exceção para bicicletas de competição, cuja altura do selim supera 635 mm. Para tanto, foi necessário que o produto utilizado no decorrer deste artigo experimental fosse enquadrado em alguma norma técnica, com isso, a NBR 14714 (2001) – Veículos de duas rodas - Bicicleta - Conjunto quadro e garfo Requisitos de segurança, foi à norma utilizada para este tipo de produto, a qual foi baseada na ISO 4210 (1996) – Cycles – Requisitos de segurança para bicicletas, com validade a partir de 31.08.2001.

O produto canote do garfo atuou juntamente com o quadro da bicicleta, ou seja, após o processo de soldagem ambos foram testados através de ensaios objetivando a validação dos mesmos.

## **2.2 NATUREZA DA PESQUISA**

A natureza da pesquisa foi feita através de uma visita de campo a 4 fornecedores do material a ser utilizado na fabricação do produto canote do garfo, levando em consideração a qualidade e preço como para a aquisição do mesmo. Outro fator relevante a pesquisa foi a quantidade em estoque desse material, cujo objetivo foi a logística visando tempo e custo.

Conforme o fornecedor escolhido, o material foi composto pelo aço carbono, ou seja, conhecido depois de pronto como tubo com costura industrial, ou simplesmente tubo industrial. Foram usados dois tipos de tubos industriais, o de uma polegada de diâmetro por dois milímetros de parede sendo seis metros de comprimento, e o de uma polegada e um quarto de diâmetro com três milímetros de parede por seis metros também de comprimento.

Todo o material utilizado no decorrer da pesquisa obedeceu as normas técnicas de fabricação NBR ISO 6591 (1981) Tubos em aço carbono com costura para fins industriais. Fornecidos nas seções redondos, quadrados e retangulares obedecendo assim, as regras da Norma Técnica Brasileira.

Os métodos utilizados na pesquisa foi baseada nos experimentos metal mecânica e ferramentas da computação como o MatLab 7.0, exercendo o papel principal na fabricação do produto garantindo precisão exata que contribuiu para a escolha certa do material usado. A contratação de pessoas especializadas e dos colaboradores contribuíram ainda mais para o sucesso da pesquisa, pois através dos conhecimentos e das parcerias firmadas o sucesso foi uma questão de tempo. Após as tomadas de decisão a avaliação do canote passou por várias etapas durante sua fabricação, sendo monitorada por profissionais dos setores de planejamento estratégico, engenharia de produção e qualidade. Em suma, a metodologia exigiu como suporte essencial a ferramenta computacional conhecida como Fuzzy, cujo função foi responsável pelo processo final de testes virtuais assistido pelo computador, sendo aprovado conforme os valores das variáveis inseridas.

### **2.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA**

De acordo com Gil (2002) o delineamento da pesquisa ou planejamento da pesquisa indica como os dados são coletados, analisados e interpretados. É através da coleta destes dados que conseguimos alcançar o objetivo da pesquisa.

Tendo como referencial as informações contidas nos dados, passaremos a análise dos mesmos para chegarmos ao resultado final da pesquisa. A seguir, serão apresentados os dados da coleta da pesquisa realizada conforme a tabela abaixo:

**Tabela 1 – Relatório de Inspeção Processo Soldagem**

Relatório de Inspeção processo soldagem					Lote: 100427			
Plano de Inspeção: Simples			Nível: II		N.Q.A: 0,65			
Nota: Realizar inspeção de uma em uma hora								
Modelo: Quadro e garfo R-1 aro 26					Cód.: 9573 – 9478			
Hora	Tamanho do Lote	Quantidade de amostra	Aceitação		Encontra		Disposição	
			Ac.	Rej.	Aprov.	Reprov.	Aprov.	Rej.
9:00	9	3	0	1	3	0	X	
Modelo: Quadro e garfo R-1 aro 26					Cód.: 9573 – 9478			
Hora	Tamanho do Lote	Quantidade de amostra	Aceitação		Encontra		Disposição	
			Ac.	Rej.	Aprov.	Reprov.	Aprov.	Rej.
10:00	44	8	0	1	8	0	X	
Modelo: Quadro e garfo R-1 aro 26					Cód.: 9573 – 9478			
Hora	Tamanho do Lote	Quantidade de amostra	Aceitação		Encontra		Disposição	
			Ac.	Rej.	Aprov.	Reprov.	Aprov.	Rej.
11:00	52	13	0	1	13	0	X	
Modelo: Quadro e garfo R-1 aro 26					Cód.: 9573 – 9478			
Hora	Tamanho do Lote	Quantidade de amostra	Aceitação		Encontra		Disposição	
			Ac.	Rej.	Aprov.	Reprov.	Aprov.	Rej.
13:00	50	8	0	1	8	0	X	
Modelo: Quadro e garfo R-1 aro 26					Cód.: 9573 – 9478			
Hora	Tamanho do Lote	Quantidade de amostra	Aceitação		Encontra		Disposição	
			Ac.	Rej.	Aprov.	Reprov.	Aprov.	Rej.
14:00	49	8	0	1	8	0	X	
Modelo: Quadro e garfo R-1 aro 26					Cód.: 9573 – 9478			
Hora	Tamanho do Lote	Quantidade de amostra	Aceitação		Encontra		Disposição	
			Ac.	Rej.	Aprov.	Reprov.	Aprov.	Rej.
15:00	50	8	0	1	8	0	X	
Modelo: Quadro e garfo R-1 aro 26					Cód.: 9573 – 9478			
Hora	Tamanho do Lote	Quantidade de amostra	Aceitação		Encontra		Disposição	
			Ac.	Rej.	Aprov.	Reprov.	Aprov.	Rej.
16:00	60	13	0	1	13	0	X	
Modelo: Quadro e garfo R-1 aro 26					Cód.: 9573 – 9478			
Hora	Tamanho do Lote	Quantidade de amostra	Aceitação		Encontra		Disposição	
			Ac.	Rej.	Aprov.	Reprov.	Aprov.	Rej.
17:00	9	3	0	1	3	0	X	

Conforme visto na tabela 1 os ensaios são realizados de hora em hora assumindo um total de 8 ensaios por dia, que resumindo a tabela acima foi obtido a seguinte tabela abaixo:

**Tabela 2 – Resumo dos Resultados**

Modelo: Quadro e garfo R-1 aro 26		Cód.: 9573 – 9478		
Tamanho do Lote	Quantidade de Amostras	% Aprovação	% Reprovação	Disposição
323	64	100	0	Aprovado

A partir da tabela 2, foi concluído que dos 323 produtos do modelo quadro e garfo R-1 aro 26, tivemos um total de 64 amostras dos quadros inspecionados. Foi observado um índice de 100% de aprovação, ocorrendo à validação e sucesso do produto canote do garfo.

O presente estudo utilizará ainda como técnica da pesquisa o estudo de caso simples, levando em consideração a análise de um único produto, o canote do garfo.

De acordo com Yin (2005) o conceito de estudo de caso é uma investigação empírica que estuda o fenômeno contemporâneo dentro do contexto da vida real.

Merriam (1998) define o estudo de caso como uma intensiva descrição holística e análise de um fenômeno ou unidade social, onde a pesquisa tem interesse na evolução do processo do fenômeno em estudo.

## **2.4 OPERACIONALIZAÇÃO DA PESQUISA**

O interesse pelo assunto escolhido se deu por meio da necessidade de sua produção local, tendo em vista que o produto canote do garfo é importado da China, tornando assim um grande desafio para ser conquistado. Publicações oriundas desse estudo contribuiriam para fundamentar ainda mais a pesquisa desenvolvida.

Após a coleta dos dados, foi procurado identificar temas e relações que contribuíssem com a pesquisa feita, onde foi constatada a integração de profissionais nas áreas de planejamento de produção, técnicas de logística, controle da qualidade e engenharia da computação.

A partir da etapa de integração dos especialistas, a dedicação na pesquisa ficou concentrada nos referenciais teóricos, os quais geraram a base para os estudos acadêmicos. A partir daí então, a tomada de decisão foi direcionada para a criação do modelo da lógica fuzzy, sendo a peça chave para a avaliação e fundamentação do estudo feito do canote do garfo.

### **CAPÍTULO 3 – DESCRIÇÃO DO CANOTE DO GARFO DA BICICLETA**

O material utilizado foi fornecido por uma empresa situada no Pólo Industrial de Manaus (PIM), a qual trabalha exclusivamente na fabricação de tubos, perfis, telhas e seus derivados. De acordo com este fornecedor, o material foi desenvolvido pela matéria prima conhecida como aço carbono, cujo produto fabricado passou a ser chamado de tubo com costura industrial, ou simplesmente tubo industrial, que serviu para a fabricação da peça canote do garfo.

Foram utilizados dois tipos de tubos industriais, o de uma polegada de diâmetro por dois milímetros de parede sendo seis metros de comprimento, e o de uma polegada e um quarto de diâmetro com três milímetros de parede por seis metros também de comprimento.

De acordo com as normas técnicas de fabricação, o material foi enquadrado como aço carbono tipo industrial NBR ISO 6591 (1981) Tubos em aço carbono com costura para fins industriais. Fornecidos nas seções redondos, quadrados e retangulares obedecendo assim, as regras da Norma Técnica Brasileira.

Os métodos utilizados na fabricação do produto contaram com uma tecnologia de ponta, a tecnologia da informação, a qual exerceu o papel fundamental no processo fabril, cuja missão foi um dos fatores responsáveis pela qualidade e garantia do produto.

Através dos recursos tecnológicos computacionais oferecidos nos processos de fabricação do tubo, a base fundamental da metodologia exigiu como suporte essencial a ferramenta computacional conhecida como CAM, cujo papel foi responsável pelo processo de manufatura assistido pelo computador, onde o profissional qualificado inseriu cálculos computacionais que geraram medições precisas e qualitativas.

Este método foi realizado através da interpretação do código de máquina, mais conhecido como linguagem de programação, onde os dados inseridos pelo operador da máquina passaram por um processo de decodificação binária, a qual contou com a ajuda de um *software* específico para este tipo de trabalho, atendendo assim o objetivo para qual foi programada.

### **3.1 DESCRIÇÃO TÉCNICA DO CANOTE DO GARFO**

A descrição do produto canote do garfo passou por um processo de fabricação industrial, a qual dependeu de diversas fases envolvendo máquinas, ferramentas, instrumentos de medição e principalmente a mão de obra qualificada. Considerando que o material (tubos industriais de aço carbono) que foi utilizado já se encontrava no chão da fábrica do fornecedor Produfer, foi realizado então a fase inicial do produto chamada de corte a qual teve como medida de 193mm de comprimento do tubo de 1 polegada de diâmetro, e 45mm de comprimento do tubo de 1 polegada e um quarto. O primeiro corte de 193mm, o nome a essa peça do produto é chamada de corpo do canote do garfo, e o segundo corte de 45 mm, o nome a ser dado é bucha do canote do garfo.

A bucha do canote do garfo recebeu dois processos de usinagens em ambas as pontas, para facilitar seu encaixe no corpo do canote do garfo, e quatro furos de 6,3 milímetros de diâmetros na mesma direção, onde dois furos são responsáveis pela saída de suspiro da peça e dois responsáveis pela local de fixação do pára-lama dianteiro da bicicleta através de parafusos.

No corpo do canote do garfo foi feito um rosqueamento de 24 fios em uma ponta com comprimento de 45mm e um rasgo de chaveta de 3mm de largura e 35mm de comprimento. Após esse processo foi realizado o encaixe da bucha no corpo do canote do garfo, daí em diante realizou-se mais uma usinagem de rebaixo na bucha para acoplar a arruela a qual foi encaixada quando montaram o canote do garfo no quadro, formando assim um conjunto. E por último, a inspeção da qualidade do produto foi analisada, bem como suas medidas e cotas, que chegaram ao tamanho final do produto de 196mm de comprimento, de acordo com o CAD, desenho feito no computador, onde após a homologação realizada, o produto canote do garfo foi entregue ao cliente.

### **3.2 ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL**

O primeiro material utilizado na fabricação do produto canote do garfo, foi o tubo industrial com costura de uma polegada de ( $\varnothing$  1 pol.) diâmetro com espessura de parede de  $e=2,00 \pm 0,1$ mm.

Abaixo foi inserida a Tabela 3 contendo as informações necessárias referente ao produto usado na fabricação do canote do garfo.

**Tabela 3 – Medidas do Tubo Industrial de 1 Polegada.**

Bitolas D		Espessura da parede mm	Peso teórico barra 6m
Pol	Mm		
1"	25.40	2.00	6.924

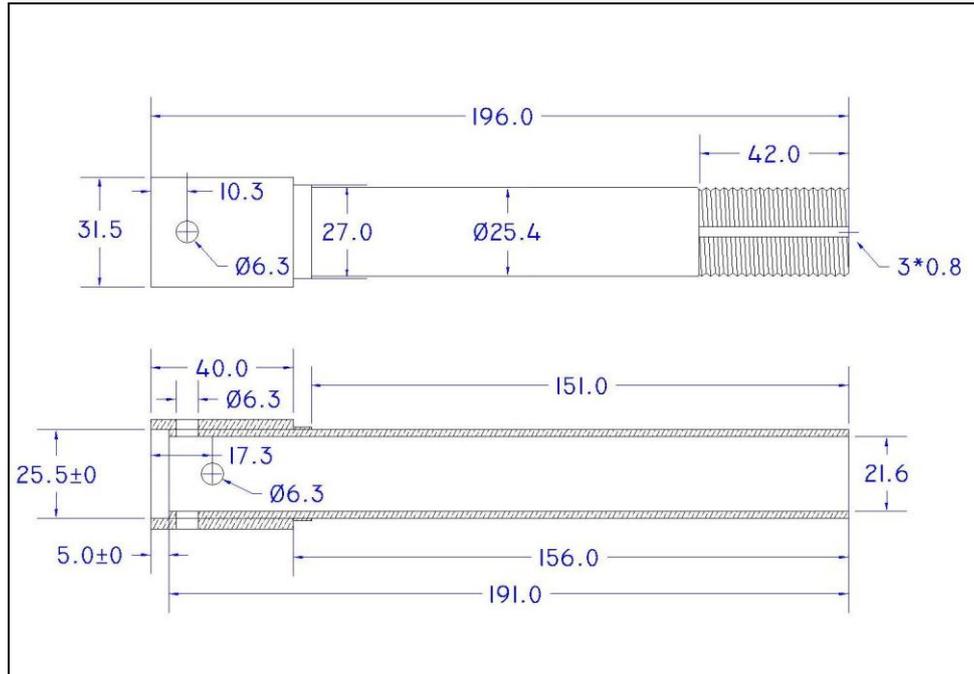
O segundo e último material utilizado na fabricação do produto canote do garfo, foi o tubo industrial com costura de uma polegada e um quarto de ( $\varnothing$  1 1/4 pol.) diâmetro com espessura de parede de  $e = 3,0 \pm 0,1$ mm. Ver Tabela 4 abaixo.

**Tabela 4 – Medidas do Tubo Industrial de 1 ¼ de Polegada.**

Bitolas D		Espessura da parede mm	Peso teórico barra 6m
Pol	Mm		
1 1/4"	31.75	3.0	12.762

Aço Carbono tipo industrial NBR ISO 6591 (1981) Tubos em aço carbono com costura para fins industriais. Fornecidos nas seções redondos, quadrados e retangulares.

- Tubos em aço carbono com costura para fins industriais. Fornecidos nas seções redondos, quadrados e retangulares.
- Tubos para as mais diversas aplicações sem exigência de acabamento e propriedades mecânicas, com composições químicas definidas.



**Figura 1** – Desenho Técnico do Canote do Garfo.

### 3.3 EQUIPAMENTO

Foi utilizada uma máquina e ferramentas mecânicas como dispositivos de fixação e demais acessórios. Para a realização dos ensaios mecânicos visando à validação do produto canote do garfo, cujo processo é realizado em conjunto com o quadro da bicicleta, onde após o canote ser soldado, o mesmo fica acoplado ao quadro fornecendo assim uma base sólida para receber o ensaio de impacto da força cíclica e queda contra o conjunto.

#### 3.3.1 Descrição da máquina

A máquina foi desenvolvida pela própria fábrica, através do CAD (desenho assistido pelo computador), projetada para atender as necessidades da própria empresa, atendendo assim as Normas Técnicas da NBR 14714 (2001) Veículos de duas rodas - Bicicleta - Conjunto quadro e garfo Requisitos de segurança. A máquina é de origem chinesa e todos os recursos que foram agregados a máquina foram também desenvolvidos internamente nas dependências da própria empresa de fabricação de bicicletas.



**Figura 2 – Molde do quadro.**



**Figura 2 – Rolete inferior do quadro.**



**Figura 4** – Canote do garfo acoplado ao quadro.



**Figura 5** – Ajustes da máquina de ensaio.



**Figura 6** – Ajustes finais para os ensaios.



**Figura 7** – Realizações de impacto dos ensaios.

Acima temos a sequência de figuras da máquina que foi utilizada para a realização dos testes mecânicos, as quais estão comentadas abaixo:

Figura 2 – mostra o quadro da bicicleta fixado ao molde que fez parte do processo de simulação do produto;

Figura 3 – apresenta o rolete inferior do quadro, responsável pela fixação do conjunto quadro e garfo junto à máquina de teste;

Figura 4 – apresenta o canote do garfo acoplado ao quadro da bicicleta, o qual fornece mais estabilidade e rigidez na hora da realização dos testes;

Figura 5 – têm-se os ajustes da máquina de ensaio para a simulação dos testes, onde cada parte da máquina tem uma função específica;

Figura 6 – nesta figura foram verificados os ajustes finais para os ensaios, tanto o conjunto quadro e garfo como a própria máquina receberam as últimas regulagens antes da simulação;

Figura 7 – finalmente foi realizado o ensaio de impacto contra o conjunto quadro e garfo, cujo objetivo foi à validação do produto canote.

Procedimento de ensaio - NBR 14714 (2001) Veículos de duas rodas - Bicicleta - Conjunto quadro e garfo Requisitos de segurança

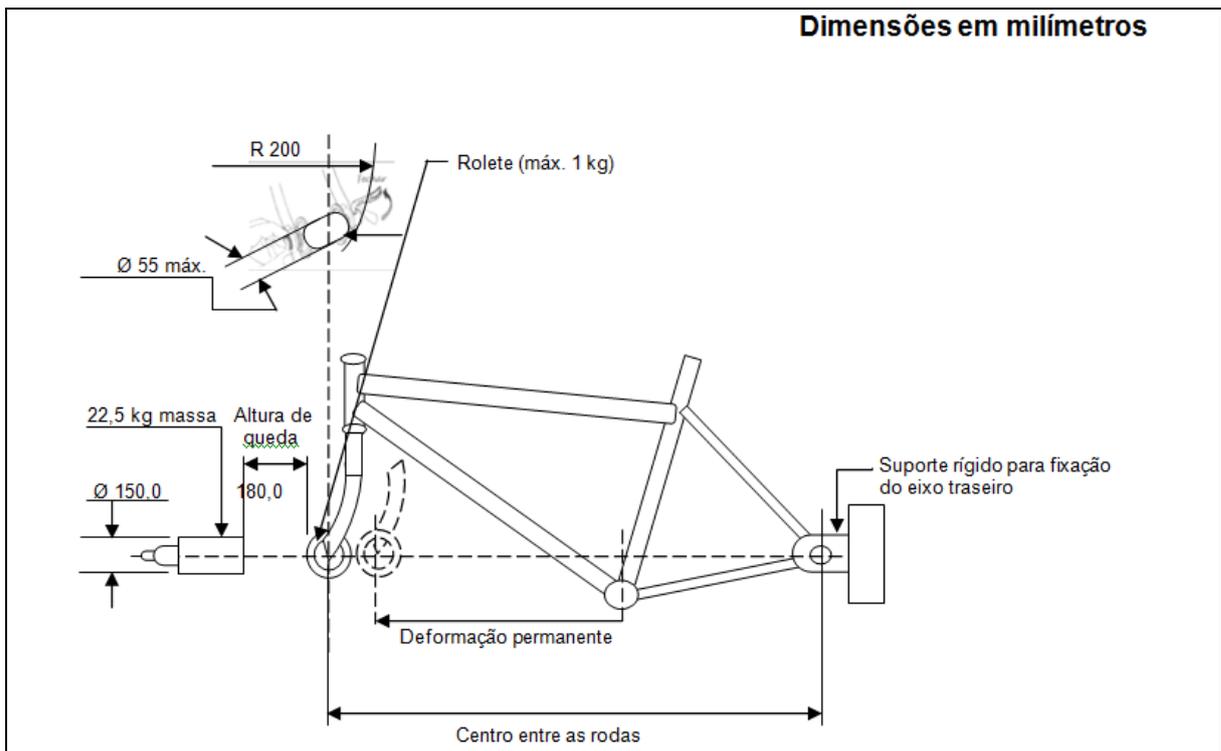
A máquina descrita acima obedeceu aos padrões da NBR 14714 (2001), sendo a mesma fabricada pelo próprio cliente alguns dados não foram liberados por questões particulares do proprietário. Porém, os ensaios mecânicos foram acompanhados etapa por etapa observando-se além do desempenho da máquina, as ferramentas utilizadas durante as simulações como o desempenho do canote. O operador regula cada processo com bastante cautela, pois qualquer erro ou falta de atenção trará prejuízos irreparáveis.

As cargas estáticas exercidas sobre o conjunto quadro e garfo poderiam ou não ocasionar rupturas no produto canote, e este foi o objetivo do desenvolvimento da máquina, servir como instrumento mecânico para validar a integridade do produto diante dos testes feitos.

### **3.4 ENSAIO DE IMPACTO CONTRA CONJUNTO**

Este ensaio foi executado com o conjunto unificado pelo quadro e o canote do garfo, ambos montados. Foi realizado o cálculo de medida da distância entre o centro das rodas. Para este ensaio de impacto, foi necessário fixar no canote do garfo um rolete de massa igual ou menor a 1kg e com dimensões conforme a figura 8. O conjunto quadro e garfo montado foram posicionados verticalmente e as gancheiras traseiras fixadas no eixo do suporte rígido, conforme figura 8.

De acordo com a NBR 14714 (2001) Veículos de duas rodas - Bicicleta - Conjunto quadro e garfo Requisitos de segurança, uma massa de 22,5kg obteve uma queda livre de uma altura de 180 mm sobre o rolete num ponto de mesmo alinhamento entre os centros das rodas e contra a curvatura do garfo, conforme a análise da figura 8 abaixo.



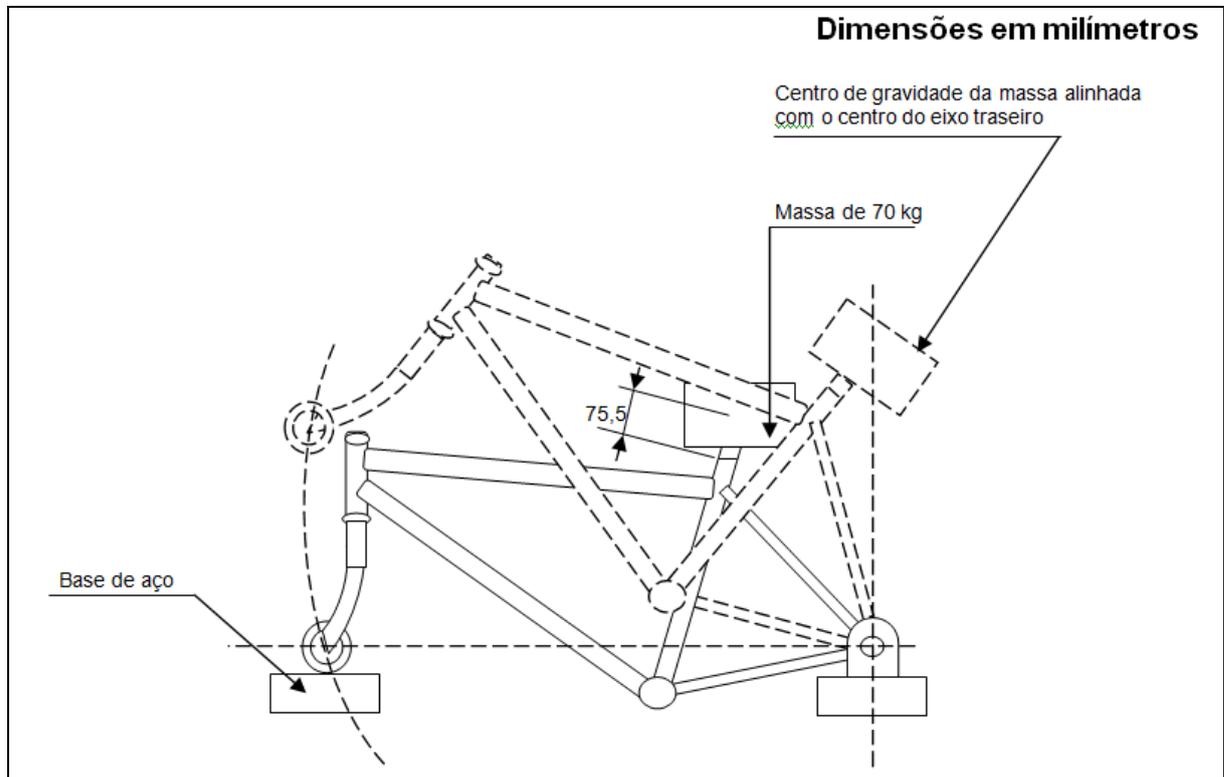
**Figura 8** – Ensaio de Impacto Contra o Conjunto.

### 3.5 ENSAIO DE QUEDA AO CONJUNTO QUADRO E GARFO

Este ensaio foi executado com o quadro montado com o garfo, e o mesmo rolete usado no ensaio da figura 8.

O conjunto descrito acima foi montado e fixado pelo eixo traseiro, num suporte que permitiu a rotação em torno deste eixo, num plano vertical. O impacto do garfo foi realizado contra uma base de aço, que manteve o quadro na posição normal de uso. Uma massa de 70 kg foi fixada firmemente ao canote do selim, de maneira que o centro de gravidade desta ficou a 75 mm do topo do tubo do selim, medido ao longo da linha do centro do tubo. O conjunto do quadro e garfo foi rotacionado até a posição onde o centro da gravidade da massa de 70 kg, obteve o

alinhamento verticalmente com o centro do eixo traseiro. Em seguida foi permitido que o quadro impactasse livremente contra a base de aço (ver figura 9).



**Figura 9** – Ensaio Mecânico do Conjunto Quadro e Garfo.

## **CAPÍTULO 4 – SISTEMAS FUZZY**

Neste capítulo serão tratados os procedimentos referenciais e teóricos sobre a lógica fuzzy, cujo objetivo é gerar a compreensão e aplicação da lógica fuzzy, definindo as etapas envolvidas nos processos para a fuzzyficação, máquina de inferência, base do sequenciamento de regras e a defuzzyficação.

### **4.1 LÓGICA FUZZY**

A publicação da lógica fuzzy ocorreu no ano de 1965 por Zadeh, o qual utilizou como base a teoria dos conjuntos (clássica), cujo objetivo era de tratar o aspecto vago da informação, ou seja, os aspectos como a imprecisão, ambiguidade e incerteza, que formam as características do pensamento.

Zadeh (1998) defende a tese de que um computador não pode resolver problemas complexos a menos que possa raciocinar de maneira similar ao de um ser humano.

Conforme Almeida e Evsukoff (2003), o termo usado como fuzzy após ser traduzido pela língua inglesa pode ter vários significados conforme o contexto de interesse, porém o conceito desse termo fuzzy passa a ser sempre vago, indistinto e incerto. Com respeito à área da engenharia, a tradução do termo fuzzy para o português mais utilizado é nebuloso e difuso, embora não seja unânime.

Quando temos que resolver problemas de modelagem complexa, a lógica fuzzy entra em ação utilizando variáveis qualitativas e quantitativas sujeitas a variações de possibilidades relevantes ou descritas baseadas em dados diferentes e incompletas. O processo decisório é baseado nas variáveis linguísticas, as quais simulam e replicam elementos do pensamento humano, principalmente em bases comparativas, tais como mais alto, mais frio, melhor, ou vagas tais como alto, baixo, bom (KACPRZYK, 1997).

A teoria dos conjuntos é baseada na lógica binária  $\{0,1\}$  e tratam a informação com pouca flexibilidade, ou seja, verdadeiro ou falso. Sendo assim, existem situações no dia a dia que exigem uma análise mais complexa e inteligente, e a menos que um sistema computacional se comporte desse modo não seria possível de resolvê-las. Sendo assim, para interpretar as informações fornecidas,

são utilizadas as chamadas variáveis linguísticas, modelando o cenário de uma linguagem natural para uma linguagem de máquina.

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

#### **4.2 OPERAÇÃO COM CONJUNTOS FUZZY**

A teoria dos conjuntos fuzzy é uma extensão da teoria dos conjuntos clássicos, por esta razão, ocorre as principais definições e relações entre os conjuntos fuzzy.

De acordo com Simões e Shaw (2007), as operações entre conjuntos pertencentes a universos de discurso diferentes, possibilitam a construção da base de conhecimento de um sistema, ou seja, os mapeamentos entre sinais.

A união de dois conjuntos fuzzy é caracterizada pela função de pertinência resultante do maior valor da pertinência aos dois conjuntos específicos de cada um de seus elementos (SIMÕES e SHAW, 2007). Falando um pouco de interseção dos conjuntos fuzzy, a definição é que a interseção de dois conjuntos fuzzy é o conjunto fuzzy caracterizado pela função de pertinência resultante do menor valor da pertinência aos dois conjuntos específicos sobre cada um dos seus elementos. Já o complemento de um conjunto fuzzy corresponde ao conectivo “Não”.

Portanto, a teoria dos conjuntos fuzzy corresponde a descrição da lógica fuzzy, onde o resultado de uma proposição lógica tem dois extremos: ou é ‘completamente verdadeiro’ ou é ‘completamente falso’, que no caso desta pesquisa ou está ‘completamente aprovado’, ou está ‘completamente reprovado’.

Na lógica fuzzy, uma premissa sofre varia em grau de verdade de 0 a 1, o que leva a ser parcialmente aprovado ou parcialmente reprovado. O funcionamento de controle da lógica fuzzy foi executado por meio da base de regras, a qual desempenha o papel de relacionar logicamente as informações que formam a base de conhecimento do sistema fuzzy. De maneira geral pode-se afirmar que quanto mais precisas forem tais informações, menos fuzzy serão as relações fuzzy que representam a base de conhecimento (BARROS e BASSANEZI, 2006).

Então, através dos valores correspondentes as variáveis de entrada e por meio da base de regras, foi possível observar a aprovação ou reprovação do produto canote do garfo por meio da geração de saídas lógica, alcançado assim o objetivo da pesquisa.

### **4.3 APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY NO CANOTE DO GARFO**

O objetivo deste estudo é a utilização da lógica fuzzy no produto chamado canote do garfo da bicicleta, onde é analisado além do grau de pertinência variado entre 0 e 1, o grau de veracidade também variado entre 0 e 1, tendo como foco principal o comportamento do produto canote do garfo e sua validação.

A qualidade de um serviço ou produto é o maior fator responsável pelo sucesso e garantia de sobrevivência do mesmo no mercado de trabalho, onde cada vez mais as empresas e organizações travam uma luta contínua em busca de qualificação tanto para seus funcionários e colaboradores como máquinas e equipamentos. A tecnologia da informação tem desempenhado um papel fundamental neste processo tecnológico e inovador, que através de programas e *softwares* como o MatLab 7.0 utilizado como ferramenta de apoio para a Lógica Fuzzy neste estudo, desencadeou os recursos necessários para conclusão da pesquisa feita.

A engenharia de *software*, além de desenvolver programas necessários oferece diversos recursos a uma empresa ou instituição no que diz respeito à Informática, suprindo às necessidades em diversas áreas existentes, sejam administrativas, financeiras ou produtivas, seja no ramo industrial ou comercial o objetivo é sempre o mesmo, a satisfação do cliente. No entanto, quando pensamos em um serviço ou um produto que será oferecido ao mercado ou cliente, devemos analisar diversos fatores que estarão envolvidos neste processo, e um deles é a qualidade, a qual é responsável por sua garantia, por isso, foi utilizado na Lógica Fuzzy o MatLab 7.0, ou seja, um programa de *software* interativo de alta performance voltado para o cálculo numérico.

Através dos cálculos numéricos necessários para os resultados obtidos, a fase de testes mecânicos do produto canote do garfo junto com a metodologia, foram responsáveis por alcançar o objetivo esperado do produto, por meio da análise e desempenho do mesmo, tendo como resultado o sucesso de aprovação.

Após a fase de simulação, o grau de pertinência e veracidade confirmou se a matéria prima utilizada na composição física da peça foi a mais viável ou não, oferecendo assim precisão e confiança para a empresa responsável pela fabricação do produto canote do garfo da bicicleta.

#### 4.4 A MODELAGEM DO SISTEMA FUZZY

Conforme observado, a lógica fuzzy trabalhou nesta dissertação o grau de a teoria dos conjuntos fuzzy e a Lógica Fuzzy, às quais foram generalizações dos conjuntos ordinários e da lógica clássica, que proporcionaram uma estrutura sistemática para representar conhecimentos qualitativos e com eles raciocinar (SARAIVA, 2000).

O conceito de conjunto fuzzy foi sintetizado com o objetivo de generalizar a idéia representada pelos conjuntos ordinários que podem ser denominados como abruptos (*crisp sets*). Pode-se encará-los como uma espécie de predicado lógico cujos valores percorrem o intervalo  $\{0,1\}$  (OLIVEIRA JÚNIOR, 1999).

O grau de pertinência foi definido por meio de uma função característica generalizada, chamada de função de pertinência.

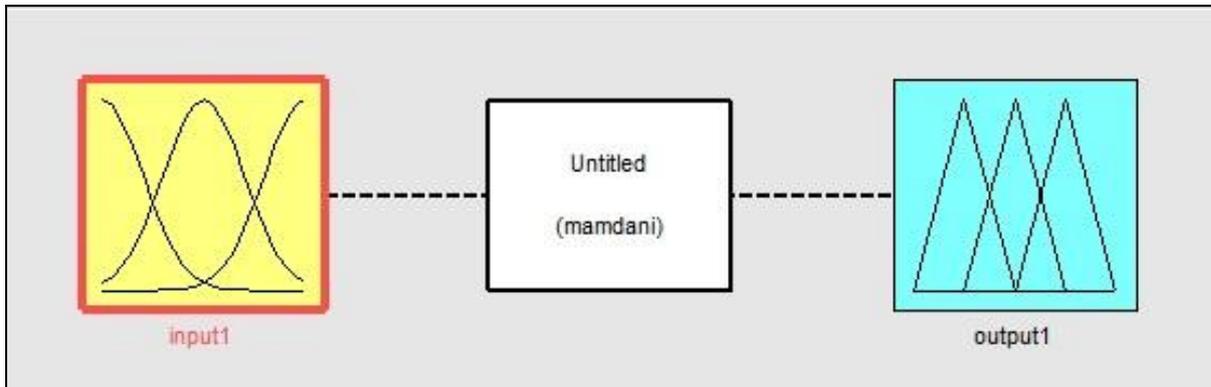
Um conjunto A da teoria dos conjuntos clássica pode ser visto como um conjunto nebuloso específico, denominado usualmente de *crisp*, onde a pertinência é do tipo “tudo ou nada”, “sim ou não”, “aprovado ou reprovado” e não gradual como para os conjuntos fuzzy (SANDRI; CORREA, 1999).

Levando em consideração os dados abordados até o presente momento, assim como a matéria prima utilizada na composição do produto canote do garfo, as informações mostradas na tabela 5 foi que serviram como base para a criação das funções de pertinência para o sistema.

**Tabela 5 – Condições para validação do canote do garfo**

Bucha de 1 ¼”	Canote de 1”	Soma	Validação
3.00 mm	2.00 mm	5.00 mm	Aprovado
3.00 mm	1.90 mm	4.90 mm	Aprovado
2.25 mm	1.50 mm	3.75 mm	Reprovado
2.00 mm	1.20 mm	3.20 mm	Reprovado

Conforme os dados da tabela 5, as informações coletadas serviram como condições para análise e modelagem do sistema fuzzy que interagido com o programa de *software* MatLab, tornou-se possível as simulações realizadas, que chegaram aos resultados esperados.



**Figura 10** – Sistema Fuzzy.

Acima podemos visualizar a tela gráfica do sistema fuzzy, o qual foi utilizado para obtenção de resultados de variáveis com o objetivo da validação do produto canote do garfo, onde os dados de entrada encontram-se descritos na tabela 5.

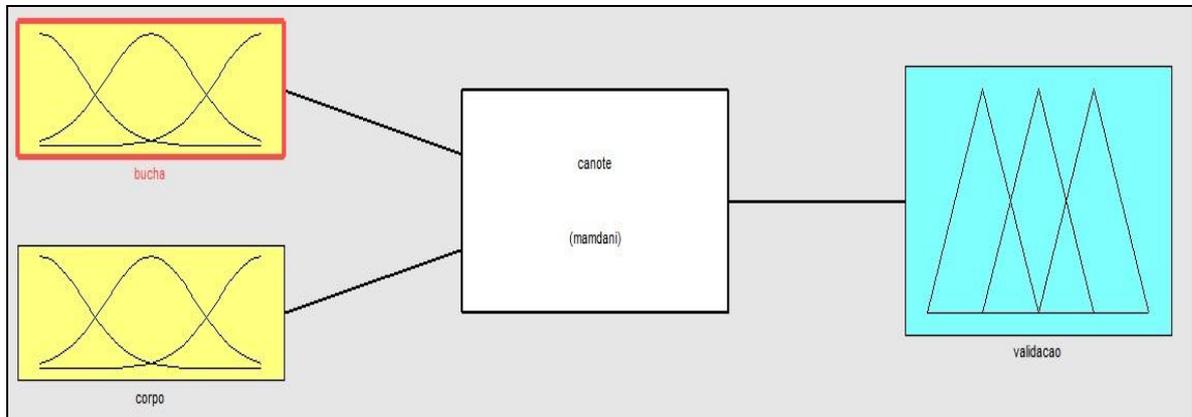
Levando em consideração o conjunto nebuloso que corresponde ao grau de pertinência variando entre 0 e 1, e a lógica difusa, ou fuzzy grau de veracidade variável entre 0 e 1, pode-se chegar à condição de Aprovado e Reprovado após a validação do produto.

De acordo com a figura 10 e conforme visto anteriormente, o processo da Lógica Fuzzy foi dividido em três etapas ou fases, a fuzzyficação que corresponde a transformações das variáveis do problema em valores fuzzy, a inferência e a defuzzyficação.

#### 4.4.1 Fuzzyficação

Nesta etapa ocorreram as transformações das variáveis numéricas de entrada e de saída em termos ou adjetivos linguísticos, tais como aprovado e reprovado, ambas definidas por conjuntos fuzzy, o qual determinou os correspondentes graus de pertinência das variáveis de entrada em relação aos conjuntos fuzzy. Para cada valor de entrada associamos uma função de pertinência, que permite obter o *grau de verdade* da proposição:

- Determinar o grau de pertinência de cada conjunto (proposição);
- Limitar o valor da entrada entre 0 e 1;



**Figura 11** – Variáveis de Entrada da Bucha e Corpo do Canote.

#### 4.4.2 Inferência

Esta segunda etapa chamada de inferência realizou a aplicação dos operadores fuzzy, assim como os operadores da lógica nítida. Os operadores usados na lógica fuzzy foram SE e ENTÃO, conhecidos como operadores de relação. Na lógica fuzzy são utilizados para definir o grau máximo e mínimo de pertinência do conjunto.

Ainda nesta fase ocorreu a aplicação do operador de implicação, usado para definir o peso no resultado e remodelar a função, ou seja, consistiu em criar uma hipótese de implicação. Como no exemplo abaixo:

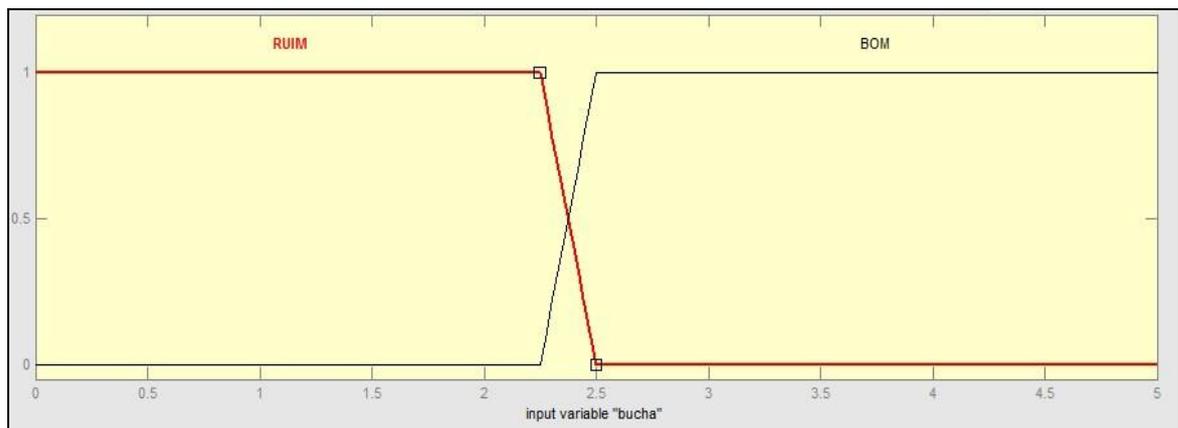
- Se (bucha é RUIM) e (corpo é BOM) ENTÃO (validação é REPROVADO).

O exemplo acima só foi possível devido a formação do conjunto sequencial de regras do tipo SE-ENTÃO. Essas regras foram definidas por especialistas ou considerando-se valores da literatura. Como condições, foram criadas o seguinte sequenciamento de regras:

1. Se (bucha é RUIM) e (corpo é RUIM) Então (validação é REPROVADO) (1)
2. Se (bucha é RUIM) e (corpo é BOM) Então (validação é REPROVADO) (1)
3. Se (bucha é BOM) e (corpo é RUIM) Então (validação é REPROVADO) (1)
4. Se (bucha é BOM) e (corpo é BOM) Então (validação é APROVADO) (1)

Os resultados acima foram ativados no sistema através dos valores das variáveis de entrada fuzzyficados, os quais passaram para a etapa de inferência, com seus graus de pertinência em relação aos correspondentes conjuntos fuzzy.

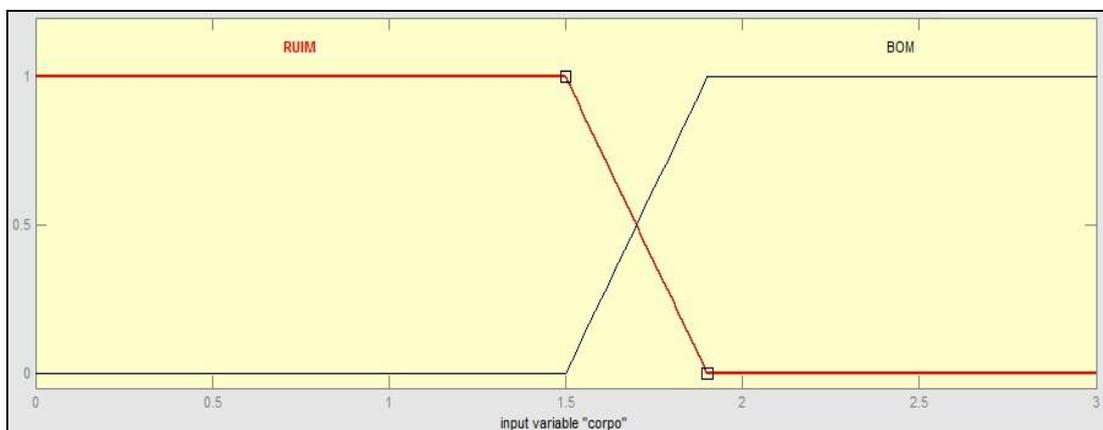
A saída para cada sequenciamento de regra definiu o grau de ativação da mesma. Em seguida os resultados obtidos com a ativação das regras foram condensados em um conjunto fuzzy de saída L. A Zadeh. Fuzzy Sets, Information and Control, vol. 8, pp. 338-353, (1965).



**Figura 12** – Variável de Entrada da Bucha.

As variáveis de entrada da bucha na figura 13 foram relacionadas com a figura 12, onde as condições para validação do canote dependeram dos valores atribuídos a bucha, os quais influenciaram nas saídas dos resultados obtidos, assumindo as primícias de RUIM e BOM.

Outro fator analisado foi o grau de pertinência variando entre 0 e 1, e a variação da espessura da bucha entre 0 e 5mm.



**Figura 13** – Variável de Entrada do Corpo do Canote.

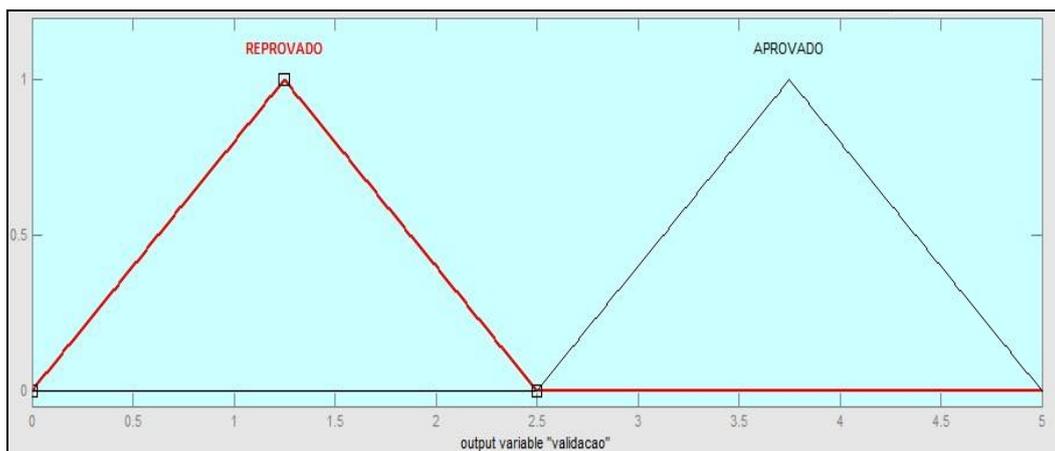
Na figura 13 acima foi analisado o grau de pertinência e sua variação entre 0 e 1 respectivamente e a variação do corpo ou canote entre 0 e 3 mm, condições criadas conforme as regras feitas para a validação da peça.

Nas figuras 13 e 14, foram mostradas as funções de pertinência da margem de contribuição, sendo ambas trapezoidais, denominadas Aprovado e Reprovado.

#### 4.4.3 Defuzzyficação

Nesta última etapa ocorreu a combinação de todas as saídas fuzzy possíveis, ou seja, uma combinação de todas as saídas em um único conjunto fuzzy, algo semelhante ao processo de união e intersecção, na teoria dos conjuntos abruptos.

O resultado da base de sequenciamento de regras foi um conjunto fuzzy, e em algumas aplicações fez-se necessário obter um valor crisp que represente este conjunto. Com este objetivo efetuou-se a defuzzyficação. O método de defuzzyficação utilizado foi o centróide, que fornece um valor correspondente à abscissa do baricentro do gráfico da função de pertinência da variável considerada. O resultado obtido foi interpretado como uma espécie de valor esperado do conjunto fuzzy, traçando-se uma analogia com as distribuições de probabilidade.



**Figura 14** – Saída das Variáveis de Validação.

Na figura 14, foi analisado o último passo no processo do raciocínio fuzzy, chamado de 'defuzzyficação' o qual consistiu em retornar os valores, obtivendo um valor numérico dentro da faixa estipulada pela lógica fuzzy.

## **CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE CASO E RESULTADOS**

Neste capítulo descrevem-se as formas utilizadas no decorrer do estudo de caso, que através de um estudo experimental mecânico do produto canote do garfo e a utilização da ferramenta computacional lógica fuzzy, foram possíveis se chegar aos resultados esperados.

O estudo de caso foi dividido em duas partes, os quais são oriundos de dois artigos publicados pelo próprio autor desta dissertação, o estudo dos ensaios mecânicos e aplicação da lógica fuzzy, ambos visando à avaliação do canote do garfo da bicicleta, tendo, portanto dois resultados parte I e parte II.

### **5.1 MODELAGEM DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO CANOTE DO GARFO**

Para o desenvolvimento desta dissertação foi criada uma parceria do fornecedor Produfer Comércio de Ferramentas Ltda e uma empresa que atua no Pólo Industrial de Manaus (PIM) de Duas Rodas, cujo foco é a fabricação de bicicletas.

Os dados de avaliação da qualidade foram baseados na quantidade de experimentos feitos de acordo com as normas NBR 5426 (1985) – NIRIO. Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos - Procedimento. RC: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas e NBR 5427 (1977) – NIRIO. Guia para utilização da norma NBR 5426 planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos - Procedimento. RC: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, com o produto canote do garfo acoplado ao quadro da bicicleta.

As medidas de segurança e a escolha da matéria prima agregado ao processo de fabricação e desenvolvimento do produto canote do garfo, fez com que a qualidade atingisse o objetivo de aprovação junto ao cliente (Fábrica de Bicicletas), podendo a mesma ser comercializada junto a esse cliente.

Outro utilizado que contribuiu para a avaliação da qualidade do canote do garfo foi a utilização do sistema fuzzy, que através do *software* MatLab 7.0 pode gerar os valores de entradas exatos para a aquisição da matéria prima, tornando-se fundamental na validação do produto.

## **5.2 RESULTADOS - PARTE I**

### **5.2.1 Simulação de ensaios mecânicos**

Durante a fase de simulação, foi disponibilizado no setor de metal mecânica o desenho CAD, para a interpretação de leitura do produto bem como o desenvolvimento da mesma. Após esse processo, entrou em ação a parte de maquinário necessário para realizar a simulação, mais conhecido como CAM, e por último a confecção da ferramenta para simular os testes obtendo assim os primeiros resultados dos protótipos.

Podemos então observar que a tecnologia da informação é uma parceria certa quando queremos trabalhar com inovação tecnológica, o produto que foi desenvolvido passou por um processo de experimento, onde seu desempenho atingiu a precisão ideal pelo qual foi projetado e planejado. Durante o processo industrial, todos os recursos tecnológicos mecânicos e computacionais agregaram valores ao produto, conquistando cada vez mais espaço dentro das grandes indústrias e centros de pesquisa e desenvolvimento P&D.

A utilização das ferramentas CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacture) e CAE (Computer Aided Engineer) no processo de desenvolvimento tecnológico e fabril, passaram a exercer um papel de extrema importância no decorrer do estudo experimental, visualizando o processo de inovação tecnológica do produto, onde através da simulação feita o mesmo saiu do estágio de protótipo para um produto final, pronto para ser comercializado.

### **5.2.2 Coleta de dados – PARTE I**

As informações inerentes a coleta de dados estão inseridas e baseadas no procedimento de ensaio - NBR 14714 (2001) – Veículos de duas rodas - Bicicleta - Conjunto quadro e garfo Requisitos de segurança.

### **5.2.3 Procedimento de ensaios – PARTE I**

Os procedimentos de ensaios realizados levaram em consideração as normas da NBR 14714 (2001), baseadas na ISO 4210 (1996) respeitando assim a

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como Fórum Nacional de Normalização. A pesquisa foi realizada junto ao cliente (Prince Bike Norte Ltda) por meio de visitas técnicas e dados coletados sobre o produto canote do garfo da bicicleta, sendo assim homologado para a parte de dos procedimentos de fabricação do mesmo e por último a realização dos ensaios.

A calibragem e regulagem da máquina de teste foi realizada dentro da fábrica de bicicletas por um funcionário qualificado, onde após os testes feitos os dados foram catalogados conforme visto na tabela 1 e resumidos na tabela 2 servindo como fonte de pesquisa no que diz respeito a qualidade e aprovação do produto canote.

Assim as informações coletadas dos ensaios na tabela 1, mostraram a eficiência adotada no procedimento das simulações mecânicas feitas como a contribuição dos colaboradores e profissionais envolvidos durante todo o processo não só metodológico como o fabril.

#### **5.2.4 Resultados dos ensaios mecânicos realizados – PARTE I**

Após a coleta dos dados fornecidos acima, analisaremos os mesmos através dos resultados dos ensaios realizados, conforme a tabela 1.

Conforme visto na tabela 1 os ensaios são realizados de hora em hora assumindo um total de 8 ensaios por dia, que resumindo a tabela acima foi obtido a seguinte tabela abaixo:

A partir da tabela 2, foi concluído que dos 323 produtos do modelo quadro e garfo R-1 aro 26, tivemos um total de 64 amostras dos quadros inspecionados. Foi observado um índice de 100% de aprovação, ocorrendo à validação e sucesso do produto canote do garfo.

### **5.3 RESULTADOS - PARTE II**

#### **5.3.1 Simulação de ensaios da lógica fuzzy**

A qualidade de um serviço ou produto é o maior fator responsável pelo sucesso e garantia de sobrevivência do mesmo no mercado de trabalho, onde cada vez mais as empresas e organizações travam uma luta contínua em busca de

qualificação tanto para seus funcionários e colaboradores como máquinas e equipamentos.

A tecnologia da informação tem desempenhado um papel fundamental neste processo tecnológico e inovador, que através de programas e *softwares* como o MatLab 7.0 utilizado como ferramenta de apoio para a Lógica Fuzzy neste estudo, desencadeou os recursos necessários para conclusão da pesquisa feita.

A vantagem do modelo da lógica fuzzy é a possibilidade de geração de regras automáticas para variáveis de entrada, e a criação das possíveis combinações entre as funções de pertinência e as variáveis. A ferramenta utilizada para o desenvolvimento do modelo fuzzy conforme dito no parágrafo anterior é o Matlab, por meio do Toolbox Fuzzy Logic, (2010a). No entanto, nesse ambiente, não é possível criar regras de maneiras automáticas, mas com o seu auxílio, podemos validar as saídas propostas pelo modelo e confirmar a eficiência proposta.

Levando em consideração todos os fatores citados na coleta de dados, foram mapeados vários dados dentro da empresa Produfer, assim como outros considerados relevantes na escolha do tipo do produto a ser produzido. No que diz respeito às ferramentas computacionais, a informática tem sido fundamental para a pesquisa realizada no decorrer de todo o trabalho, pois o *software* Matlab 7.0 através da lógica fuzzy ofereceu precisão para os resultados obtidos decorrentes dos valores inseridos na etapa de fuzzyficação, além disso, a engenharia de *software* desenvolve programas necessários e oferece diversos recursos a uma empresa ou instituição.

Neste trabalho os cálculos numéricos foram necessários para os resultados obtidos no processo de defuzzyficação, ou saída das variáveis de validação, pois diante dos desafios encontrados, a fase de planejamento e execução através da metodologia foram responsáveis por alcançar o objetivo esperado do produto, por meio da análise e desempenho do mesmo, tendo como resultado o sucesso de aprovação.

### **5.3.2 Coleta de dados - PARTE II**

A coleta de dados foi baseada na teoria dos conjuntos fuzzy. Tradicionalmente, uma proposição lógica tem dois extremos: ou é 'completamente verdadeiro' ou é 'completamente falso'. Partindo desse principio, os dois extremos

utilizados na preposição lógica foram: ou está ‘completamente aprovado’, ou está ‘completamente reprovado’.

Os valores correspondentes as variáveis foram coletados durante a pesquisa dos tipos de materiais utilizados durante os testes, onde predominou o tubo de 1 polegada de diâmetro com parede de 1.9 milímetro e buxa de 1 polegada e um quarto de diâmetro com parede de 3 milímetros. Segundo os valores coletados na Tabela 3, condições para validação do canote do garfo, foi possível realizar as simulações necessárias para chegar-se ao resultado final.

### **5.3.3 Procedimento de ensaios - PARTE II**

O procedimento de ensaios foi realizado baseado na teoria dos conjuntos fuzzy e lógica fuzzy, às quais foram generalizações dos conjuntos ordinários e da lógica clássica, que proporcionaram uma estrutura sistemática para representar conhecimentos qualitativos e com eles raciocinar.

O conceito de conjunto fuzzy foi sintetizado com o objetivo de generalizar a idéia representada pelos conjuntos ordinários que podem ser denominados como abruptos (crisp sets). Pode-se encará-los como uma espécie de predicado lógico cujos valores percorrem o intervalo  $\{0,1\}$ .

O grau de pertinência foi definido por meio de uma função característica generalizada, chamada de função de pertinência. Um conjunto A da teoria dos conjuntos clássica pode ser visto como um conjunto nebuloso específico, denominado usualmente de *crisp*, onde a pertinência é do tipo “tudo ou nada”, “sim ou não”, “aprovado ou reprovado” e não gradual como para os conjuntos fuzzy.

### **5.3.4 Resultados dos ensaios fuzzy realizados - PARTE II**

Levando em consideração os dados abordados até o presente momento, assim como a matéria prima utilizada na composição do produto canote do garfo, as informações mostradas na Tabela 3 foi que serviram como base para a criação das funções de pertinência para o sistema.

Conforme os dados da Tabela 5, as informações coletadas serviram como condições para análise e modelagem do sistema fuzzy que interagido com o

programa de *software* MatLab, tornou-se possível as simulações realizadas, que chegaram aos resultados esperados (Ver figura 10).

Acima podemos visualizar a tela gráfica do sistema fuzzy, o qual foi utilizado para obtenção de resultados de variáveis com o objetivo da validação do produto canote do garfo, onde os dados de entrada encontram-se descritos na tabela 3.

Levando em consideração o conjunto nebuloso que corresponde ao grau de pertinência variando entre 0 e 1, e a lógica difusa, ou fuzzy grau de veracidade variável entre 0 e 1, pode-se chegar à condição de Aprovado e Reprovado após a validação do produto. De acordo com a figura 1 e conforme visto anteriormente, o processo da Lógica Fuzzy foi dividido em três etapas ou fases, a fuzzyficação que corresponde a transformações das variáveis do problema em valores fuzzy, a inferência e a defuzzyficação. Porém iremos analisar somente o processo de defuzzyficação, visto ser ele o encarregado pelo resultado da avaliação do canote do garfo.

Nesta última etapa ocorreu a combinação de todas as saídas fuzzy possíveis, ou seja, uma combinação de todas as saídas em um único conjunto fuzzy, algo semelhante ao processo de união e intersecção, na teoria dos conjuntos abruptos.

O resultado da base de sequenciamento de regras foi um conjunto fuzzy, e em algumas aplicações fez-se necessário obter um valor crisp para representar este conjunto. Com este objetivo efetuou-se a defuzzyficação. O método de defuzzyficação utilizado foi o centróide, que fornece um valor correspondente à abscissa do baricentro do gráfico da função de pertinência da variável considerada. O resultado obtido foi interpretado como uma espécie de valor esperado do conjunto fuzzy, traçando-se uma analogia com as distribuições de probabilidade.

Na figura 14, foi analisado o último passo no processo do raciocínio fuzzy, chamado de 'defuzzyficação' o qual consistiu em retornar os valores, obtivendo um valor numérico dentro da faixa estipulada pela lógica fuzzy.

#### **5.4 ANÁLISE DE RESULTADOS**

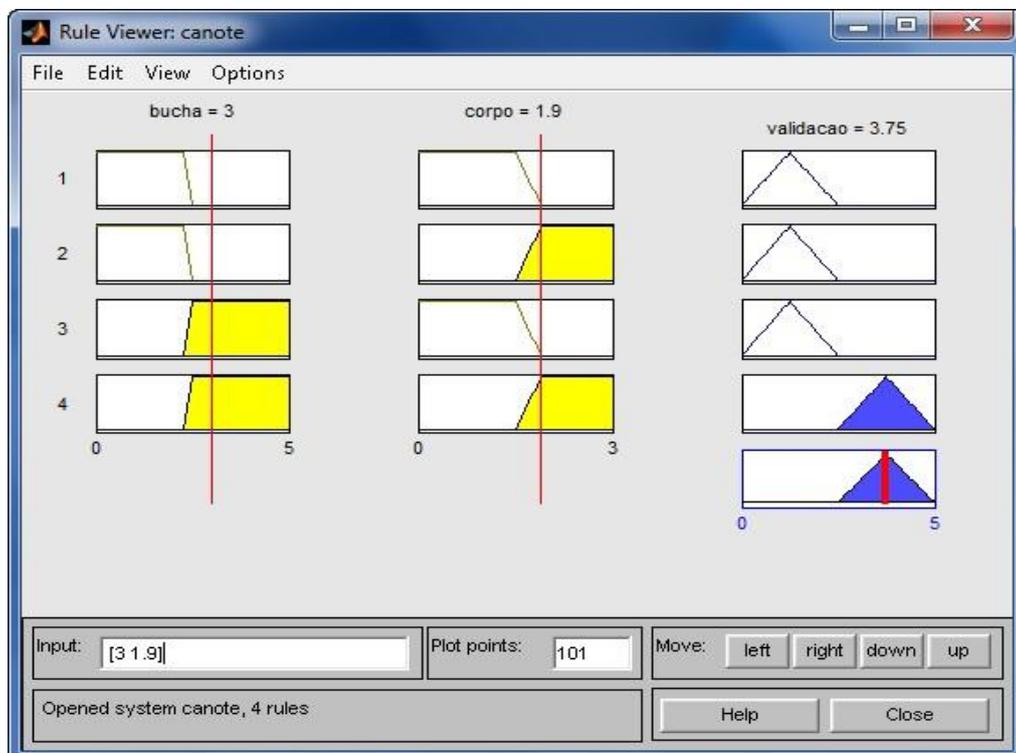
Através do visualizador de regras foi permitida a interpretação do processo de inferência fuzzy de uma só vez, onde foi mostrada como a forma de adesão de

algumas funções obteve influência no resultado como um todo, demonstrando cada regra e o resultado do sistema FUZZY LOGIC TOOLBOX USER`S GUIDE – For Use with MATLAB, version 2, (1999).

Os indicadores de entrada foram obtidos por intermédio de valores descritos conforme a tabela 3 em análise conjunta dos especialistas da empresa, tendo como visão a validação do produto canote do garfo. Foi levada em consideração a descrição técnica da matéria prima utilizada para a fabricação do produto bem como a sua aprovação, onde os valores da mesma foram estimados em função de suas ações previstas no ambiente de manufatura do canote.

Foi definido um valor entre 0 ~ 5 para bucha do canote do garfo – bucha = 3, e definido um valor entre 0 ~ 3 para o corpo do canote do garfo – corpo = 1.9.

O resultado final do sistema foi de validação = 3.75, demonstrando que a condição mínima para que o produto fosse aprovado no teste de validação, foi de 3 mm para a bucha e 1.9 mm para o corpo do canote, onde após o processo de defuzzyficação chegasse na margem esperada de 3.75 mm, valor correspondente para a condição de aprovação do produto canote.



**Figura 15** – Saída do Sistema de Sequenciamento.

## 5.5 DISCUSSÃO

Conforme a preparação para a validação do produto canote do garfo, aprendemos que alguns dos fatores relevantes a este processo de simulação da peça foram fundamentais para a aprovação do produto canote do garfo. A descrição técnica da matéria prima (aço carbono), o programa de *software* MatLab 7.0 e a aplicação da Lógica Fuzzy, contribuíram para alcançar a aprovação do canote.

Após o processo de transformações das variáveis numéricas de entrada e de saída, segundo os respectivos valores inseridos na mesma, foi possível realizar na inferência o grau de pertinência que mostrou a qualidade do produto, sendo bom ou ruim, ou seja, aprovado ou reprovado segundo o processo de defuzzyficação.

Somente através do processo de defuzzyficação, foram mostradas as saídas das variáveis de validação atingindo com isso o objetivo para o qual foi projetado.

## CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1 CONCLUSÕES

A partir da aplicação da lógica fuzzy utilizada neste artigo, foi analisado o comportamento mecânico e virtual do produto canote do garfo frente aos testes de simulações realizados no programa MatLab 7.0, onde ficou evidente que a peça em questão atingiu a meta para qual foi elaborada, chegando ao resultado esperado durante o processo de fuzzyficação, sendo validada e aprovada conforme o sequenciamento das regras criadas como condições para alcançar o resultado final.

Neste processo virtual, o aprendizado que resultou dos recursos tecnológicos computacionais contribuiu em prol do sucesso alcançado, onde a ferramenta computacional MatLab 7.0 e a utilização da Lógica Fuzzy, juntamente com as variáveis de entradas baseadas nos dados da tabela 3, específicas para este produto, aliadas de precisão e qualidade, foram os fatores determinantes que contribuíram para o sucesso dos ensaios virtuais realizados. Podemos então afirmar com certeza que baseado nas simulações realizadas neste artigo, a empresa responsável pela fabricação do canote do garfo usufruiu das ferramentas computacionais de informática, onde a mesma economizou tempo e custo ganhando com isso precisão nos resultados referente ao material a ser utilizado.

Comparado ao ensaio mecânico do conjunto quadro e garfo, a vantagem da simulação virtual é sem dúvida superior e bem mais eficiente que a simulação mecânica. Ao trabalhar-se com ambas as simulações, fica evidente que a parceria da tecnologia mecânica aliada à tecnologia da informática contribuiu para a avaliação do canote do garfo da bicicleta. Além da eficiência e qualidade oferecida pelo programa de *software*, a redução dos custos foi bastante observada como um dos fatores determinantes para a escolha dessas ferramentas computacionais.

Conforme a análise da conclusão feita, o sucesso de um serviço ou produto depende da escolha a ser feita, onde o conhecimento e a qualificação do objetivo a ser alcançado determinam o sucesso ou fracasso, porém neste caso foi o sucesso graças às tecnologias tanto mecânicas como computacionais.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para um melhor aprimoramento não só deste trabalho mais de outros que poderão vir a ser desenvolvidos, fica como recomendações os seguintes trabalhos:

- Simulação da Validação de Produtos no Processo Industrial Utilizando o *Software NX Nastran* como Estudo Experimental.
- Aplicação da Lógica Fuzzy na Estamparia de um Produto Industrial.
- A Utilização de Ferramentas Computacionais na Automação Industrial.

## 6.3 PUBLICAÇÕES ORIUNDAS DO TRABALHO

NASCIMENTO, Ruy Sidney dos S. **O uso de ensaios mecânicos para avaliação do produto canote do garfo.** II Convencion Internacional de La Ingenieria en Cuba - VI Conferencia de Ingeniería Mecánica, Eléctrica e Industrial, Matanzas - Cuba, CIIC 2010 – CIMEI 2010, 03 a 05 de junho de 2010. ISBN: 978 – 959 – 247 – 077 – 4.

\_\_\_\_\_. **A aplicação da lógica fuzzy para a avaliação do produto canote do garfo.** 1º Congresso de Engenharia de Produção da Região Sul – CONEPRO-SUL – Competitividade na Engenharia de Produção: Inovação e Sustentabilidade, Joinville – SC, 22 a 24 de Setembro de 2010.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5426**: Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos. Rio de Janeiro, 1985.

\_\_\_\_\_. **NBR 5427**: Guia para utilização da norma ABNT NBR 5426 - Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos. Rio de Janeiro, 1977.

\_\_\_\_\_. **NBR 14714**: Veículo de duas rodas - Bicicleta - Conjunto quadro e garfo Requisitos de segurança. ABNT/CB-05 - COMITÊ BRASILEIRO AUTOMOTIVO. *Rio de Janeiro, 2001.*

\_\_\_\_\_. **NBR 6591**: Tubos em aço carbono com costura para fins industriais. Fornecidos nas seções redondos, quadrados e retangulares. *Rio de Janeiro, 1981.* International Standards for Business, Government and Society. ISO 4210: Cycles – Requisitos de segurança para bicicletas. 1996. Disponível em: <http://www.iso.org/>.

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

BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. **Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática**. Campinas; Comissão de publicações IMECUNICAMP. Coleção IMEC. Textos didáticos. V. 5, 2006.

FUZZY LOGIC TOOLBOX USER`S GUIDE – For Use with MATLAB, version 2, 1999.

KACPRZYK, J. **Multistage fuzzy control**. Chichester. UK: Jhon Wiley Sons, 1997.

L. A Zadeh. **Fuzzy Sets, Information and Control**. vol. 8, 1965, pp. 338-353.

OLIVEIRA JÚNIOR, H. A. **Lógica difusa**: aspectos práticos e aplicações. Rio de Janeiro: Interciência, 1999.

SANDRI, S.; CORREA, C. **Lógica Nebulosa, V Escola de Redes Neurais**. ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica), 1999, pp. c073-c090.

SARAIVA, G. J. P. **Lógica fuzzy**: ciência e tecnologia do exército, v. 17, n. 3, 2000, pp. 43-66.

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

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

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