**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA**
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**
**MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**RAQUEL GALHARDO DE CARVALHO LOPES**

# ESTUDO DE MEDIÇÃO DE PEÇAS MECÂNICAS ATRAVÉS DE IMAGENS UTILIZANDO CONCEITOS DE LÓGICA PARACONSISTENTE

**SANTOS – SP**
**2015**

**RAQUEL GALHARDO DE CARVALHO LOPES**

# ESTUDO DE MEDIÇÃO DE PEÇAS MECÂNICAS ATRAVÉS DE IMAGENS UTILIZANDO CONCEITOS DE LÓGICA PARACONSISTENTE

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sob orientação do Prof. Dr. Mauricio Conceição Mario e co-orientação do Prof. Me. Luís Fernando Pompeo Ferrara.

**SANTOS – SP**

**2015**

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

Lopes, Raquel Galhardo de Carvalho.

Estudo de Medição de Peças Mecânicas Através de Imagens Utilizando Conceitos de Lógica Paraconsistente / Raquel Galhardo de Carvalho Lopes
78p.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Conceição Mario
Coorientador: Prof. Me. Luís Fernando Pompeo Ferrara

Dissertação (Mestrado) – Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2015.

1. Análise Digital de Imagens. 2. Medição de Peças. 3. Lógica Paraconsistente Anotada. 4. Metrologia por Imagens. I. Mario, Mauricio Conceição II. Ferrara, Luís Fernando Pompeo III. Estudo de Medição de Peças Mecânicas Através de Imagens Utilizando Conceitos de Lógica Paraconsistente

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas – Unisanta

*Aos meus pais e ao meu noivo que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Mauricio Conceição Mario, que acreditou na minha capacidade e consequentemente na conclusão desse trabalho.

Ao meu coorientador, Prof. Me. Luís Fernando Pompeo Ferrara pelas oportunidades a que me tem proporcionado.

Ao Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho, por sempre estar disposto a contribuir com seu conhecimento e suas pesquisas.

Ao Heverton Lira Corrêa pela captura das imagens utilizadas como base de testes no aplicativo.

*“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”*

*Charlie Chaplin*

## RESUMO

Este trabalho tem por finalidade realizar uma pesquisa sobre técnicas de medição de peças mecânicas através de imagens digitais capturadas a partir de uma câmera fotográfica digital. Para tal estudo, desenvolveu-se um modelo Lógico estruturado em algoritmos extraídos da Lógica Paraconsistente Anotada – LPA no qual se destaca a Célula Neural Artificial Paraconsistente de Aprendizagem – CNAPap. Esta célula implementa um algoritmo paraconsistente de recursão que é treinado através de valores padrões aplicados repetitivamente em sua entrada. A CNAPap apresenta resultados com comportamento assintótico controlado por um fator de aprendizagem e com estas características permitiu a construção de um aplicativo computacional em linguagem de programação *Java* dedicado a processar medições utilizando técnicas de Visão Computacional. Nesta primeira versão do aplicativo a obtenção das medidas é feita através da escolha da imagem a ser analisada usando o *mouse* para fazer iterações sucessivas com a possibilidade de se obter medições com maior confiabilidade. Foram utilizadas técnicas de Processamento Digital de Imagens e Análise Digital de Imagens baseadas em equações fundamentadas em Lógica Paraconsistente Anotada. No processo de medição, para que os valores possam ser comparados com os resultados alcançados pelo modelo paraconsistente, foi utilizado um paquímetro como instrumento convencional na aferição das medidas. Os resultados se apresentaram promissores e serão referências para agregar esta técnica de análise da Lógica Paraconsistente em processos mecânicos que utilizem medição de peças.



**Palavras chave:** Análise Digital de Imagens. Medição de Peças. Lógica Paraconsistente Anotada. Metrologia por Imagens.

## ABSTRACT

This work aims to realize a research on measurement techniques of mechanical parts through digital images captured from a digital camera. For this study, developed a model structured in algorithms extracted of Paraconsistent Annotated Logic - PAL in which stands out the Paraconsistent Neural Artificial Cell of Learning - $PANCell_{La}$. This cell implements a paraconsistent algorithm recursion that is trained through default values applied repeatedly in your input. The $PANCell_{La}$ shows results with asymptotic behavior controlled by a Learning factor and with these features allowed the construction of a computer application in the Java language dedicated to process measurements using techniques of Computer Vision. In this first version of the application the obtainment of the measures is made through the image of choice to be analyzed using the mouse to make successive iterations with the possibility to obtain measurements with greater reliability. Were used techniques of Digital Image Processing and Digital Image Analysis based on equations of Paraconsistent Annotated Logic. In the measurement process, for that the values can be compared with the results achieved by paraconsistent model, was used a caliper rule as conventional instrument in gauging the measures. The results were promising and will be references to add this analysis technique of paraconsistent logic on processes using measurement of parts.



**Keywords:** Digital Image Analysis. Measurement of parts. Paraconsistent Annotated Logic. Metrology for Images.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - (a) Representação de uma imagem do tipo *raster*; (b) Representação de uma imagem vetorial. ..... 19
Figura 2 - Imagem digital (matriz de valores). ..... 20
Figura 3 - Etapas de um sistema de processamento de imagens. ..... 21
Figura 4 - Símbolo da CNAPap interligada para aprendizagem do *padrão de verdade* $\mu 1$. ..... 25
Figura 5 - Blocos padrão e peças mecânicas. ..... 30
Figura 6 - Traçadores de altura. ..... 31
Figura 7 - Máquinas de Medição por Coordenadas Cartesianas. ..... 32
Figura 8 - Braços articulados de medição. ..... 33
Figura 9 - Vista geral da tela do aplicativo. ..... 38
Figura 10 - Menus. ..... 39
Figura 11 - Vista geral da tela do aplicativo com uma imagem inserida. ..... 41
Figura 12 - Resultado de uma medição referente à altura. ..... 44
Figura 13 - Resultado de uma medição referente à largura. ..... 45
Figura 14 - Resultados parciais da marcação da posição inferior para medida de altura. ..... 47
Figura 15 - Resultados finais da marcação da posição superior para medida de altura. ..... 47
Figura 16 - Bloco Paraconsistente como indicador de convergência para estabilidade das medições referente à altura. ..... 49
Figura 17 - Resultados parciais da marcação da lateral esquerda para medida de largura. ..... 52
Figura 18 - Resultados finais da marcação da posição da lateral direita para medida de largura. ..... 52
Figura 19 - Bloco Paraconsistente como indicador de convergência para estabilidade das medições referente à largura. ..... 54

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Algoritmo de inserção de imagem. ..... 40
Quadro 2 - Algoritmo referente à entrada de valores padrões. ..... 42
Quadro 3 - Algoritmo da obtenção das medidas. ..... 43
Quadro 4 - Algoritmo para obtenção da altura. ..... 46
Quadro 5 - Algoritmo para obtenção da largura. ..... 51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 1. ..... 56
Tabela 2 - Medidas obtidas no ensaio A. ..... 57
Tabela 3 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 2. ..... 57
Tabela 4 - Medidas obtidas no ensaio B. ..... 58
Tabela 5 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 1. ..... 59
Tabela 6 - Medidas obtidas no ensaio J. ..... 59
Tabela 7 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 2. ..... 60
Tabela 8 - Medidas obtidas no ensaio K. ..... 60
Tabela 9 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 3. ..... 68
Tabela 10 - Medidas obtidas no ensaio C. ..... 68
Tabela 11 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 4. ..... 68
Tabela 12 - Medidas obtidas no ensaio D. ..... 69
Tabela 13 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 5. ..... 69
Tabela 14 - Medidas obtidas no ensaio E. ..... 69
Tabela 15 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 6. ..... 70
Tabela 16 - Medidas obtidas no ensaio F. ..... 70
Tabela 17 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 7. ..... 70
Tabela 18 - Medidas obtidas no ensaio G. ..... 71
Tabela 19 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 8. ..... 71
Tabela 20 - Medidas obtidas no ensaio H. ..... 71
Tabela 21 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 9. ..... 72
Tabela 22 - Medidas obtidas no ensaio I. ..... 72
Tabela 23 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 3. ..... 73
Tabela 24 - Medidas obtidas no ensaio L. ..... 73
Tabela 25 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 4. ..... 74
Tabela 26 - Medidas obtidas no ensaio M. ..... 74
Tabela 27 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 5. ..... 75
Tabela 28 - Medidas obtidas no ensaio N. ..... 75
Tabela 29 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 6. ..... 75
Tabela 30 - Medidas obtidas no ensaio O. ..... 76
Tabela 31 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 7. ..... 76

Tabela 32 - Medidas obtidas no ensaio P. ..... 76
Tabela 33 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 8. ..... 77
Tabela 34 - Medidas obtidas no ensaio Q. ..... 77
Tabela 35 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 9. ..... 77
Tabela 36 - Medidas obtidas no ensaio R. ..... 78

**LISTA DE SIGLAS**

2D – Duas dimensões
ADI – Análise Digital de Imagens
API – *Application Programming Interfaces*
CNAPs – Células Neurais Artificiais Paraconsistentes
CNAPap – Célula Neural Artificial Paraconsistente de aprendizagem
GUI – *Graphical User Interface*
JDK – Java Development Kit
JPEG – *Joint Photographic Experts Group*
LP – Lógica Paraconsistente
LPA – Lógica Paraconsistente Anotada
LPA2v – Lógica Paraconsistente Anotada com Anotação de dois valores
PDI – Processamento Digital de Imagens
RNAP – Redes Neurais Artificiais Paraconsistentes

**SUMÁRIO**

1. INTRODUÇÃO ..... 15
1.1. ESTRUTURA DO TRABALHO ..... 16
1.2. VISÃO COMPUTACIONAL ..... 17
1.3. IMAGEM DIGITAL ..... 18
1.4. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS ..... 21
1.5. ANÁLISE DIGITAL DE IMAGENS ..... 22
1.6. LÓGICA PARACONSISTENTE ..... 23
1.7. LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA ..... 23
1.8. LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA COM ANOTAÇÃO DE DOIS VALORES ..... 24
1.9. REDE NEURAL ARTIFICIAL PARACONSISTENTE ..... 25
1.10. CÉLULA NEURAL ARTIFICIAL PARACONSISTENTE DE APRENDIZAGEM ..... 25
1.11. ALGORITMO DA CNAPap ..... 26
1.12. METROLOGIA ..... 28
1.13. MEDIÇÃO DE PEÇAS APLICADA À INDÚSTRIA ..... 29
1.14. INSTRUMENTOS/SISTEMAS DE MEDIÇÃO POR CONTATO ..... 31
1.15. METROLOGIA POR IMAGEM ..... 34
1.16. CARACTERÍSTICAS DA LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO JAVA ..... 35
2. OBJETIVOS DO TRABALHO ..... 36
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... 36
3. MATERIAIS E MÉTODOS ..... 37
3.1. DESENVOLVIMENTO DO MODELO COMPUTACIONAL DE MEDIÇÃO ..... 37
3.2. ESTRUTURA DA APLICAÇÃO PARA MEDIÇÃO DIGITAL DAS PEÇAS ..... 40
3.3. CÁLCULO PARA OBTENÇÃO DA ALTURA DAS PEÇAS ..... 45

3.4. CÁLCULO PARA OBTENÇÃO DA LARGURA DAS PEÇAS ..... 50
4. RESULTADOS ..... 56
5. CONCLUSÃO ..... 62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 64
APÊNDICE A – Ensaios de medição sem blocos padrões ..... 68
APÊNDICE B – Ensaios de medição com blocos padrões ..... 73

# 1. INTRODUÇÃO

O uso de Sistemas de Visão Computacional tem se tornado cada vez mais comum na área industrial, proporcionando um avanço tecnológico nos setores de inspeção visual, pois sistemas desse tipo auxiliam na análise de conformidade de produtos, em prol de eliminar aspectos como subjetividade, fadiga, lentidão e custos associados à inspeção humana (PEDRINI & SCHWARTZ, 2008).

A Visão Computacional é a ciência e tecnologia que permite extrair informações significativas a partir de imagens capturadas por câmeras de vídeo, sensores, *scanners* entre outros dispositivos (DE MILANO, 2010). Essa tecnologia envolve dois níveis de abstração normalmente estabelecidos: Processamento Digital de Imagens e a Análise Digital de Imagens.

O Processamento Digital de Imagens é composto por um conjunto de técnicas que permite extrair e identificar informações das imagens e melhorar a qualidade visual de certos aspectos estruturais, facilitando a percepção humana e a interpretação automática por meio de dispositivos (PEDRINI & SCHWARTZ, 2008).

A Análise Digital de Imagens é, tipicamente, baseada na forma, na textura, nos níveis de cinza ou nas cores dos objetos presentes nas imagens (PEDRINI & SCHWARTZ, 2008).

Uma dificuldade inerente ao processo de análise de imagens é seu caráter multidisciplinar, em que diversos domínios de conhecimento são comumente necessários para solucionar problemas, tais como geometria computacional, visualização científica, estatística, teoria da informação, etc. (PEDRINI & SCHWARTZ, 2008).

Segundo De Santo et al. (2004), em sistemas de medições através de imagens digitais, é necessário fazer um estudo sobre a avaliação de incertezas em relação às medidas obtidas. Mediante essa necessidade além de técnicas de Processamento Digital de Imagens e Análise Digital de Imagens, foram utilizados conceitos de Lógica Paraconsistente Anotada para auxiliar na estabilidade das medições (DA SILVA FILHO, 2006, 2007).

## 1.1. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo trata-se da introdução onde são abordados os principais conceitos relacionados à Visão Computacional, Imagem Digital, Processamento Digital de Imagens, Análise Digital de Imagens, Lógica Paraconsistente – LP e suas extensões, Metrologia e características da Linguagem de Programação *JAVA*.

No segundo capítulo é apresentado o objetivo do trabalho. No terceiro capítulo são demonstradas as etapas para o desenvolvimento do modelo computacional em estudo, o método de utilização bem como as equações utilizadas para obtenção das medidas.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos através do aplicativo desenvolvido e um breve comentário sobre as medidas obtidas nos ensaios realizados.

O quinto capítulo contém as conclusões sobre a fundamentação do trabalho em questão. Finalizando temos as referências que serviram como base de pesquisa para a estruturação desta dissertação, nos Apêndices A e B são expostas as medições obtidas dos ensaios realizados sem o bloco padrão e com o bloco padrão.

## 1.2. VISÃO COMPUTACIONAL

Visão Computacional é a ciência que caracteriza a forma a qual o computador mapeia o meio à sua volta, possibilitando a extração de informações significativas a partir de imagens capturadas por câmeras de vídeos, sensores, scanners, entre outros dispositivos. A partir dessas informações pode-se reconhecer, manipular e pensar sobre os objetos que compõem uma imagem (BALLARD e BROWN, 1982).

Considerada uma ciência recente, foi em meados da década de 70 que surgiram os primeiros trabalhos de Visão Computacional associado à Inteligência Artificial. Nesta época destacaram-se os trabalhos *The Psychology of Computer Vision* (WINSTON, 1975) e *A Framework for Representing Knowledge* (MINSKY, 1974). Estes trabalhos motivaram estudiosos a acreditarem que em pouco tempo seria possível representar o sentido da visão humana de forma completa em uma máquina. Mas segundo estudos nas décadas subsequentes, verificou-se uma complexidade muito maior do que imaginado inicialmente, principalmente pela falta de informações e de modelos que representassem a forma como as imagens são interpretadas no cérebro humano (DE MILANO; HONORATO, 2010).

Com o passar dos anos, a evolução tecnológica dos computadores e dispositivos de aquisição de imagens, associada a preços acessíveis, contribuiu para a crescente aplicação da visão computacional em diversas áreas, tais como: inspeção industrial, navegação de robôs móveis, na medicina com o âmbito de auxiliar no resultado de diagnósticos, entre outras (DE MILANO; HONORATO, 2010).

Segundo Rehem e Trindade (2009), aplicações que utilizam visão computacional são geralmente decorridas de outras áreas de pesquisa com o intuito de resolver problemas particulares de forma específica, assim conhecida como Sistemas Especialistas, pois necessitam de conhecimento específico para a solução de um determinado problema. Desta forma, pode-se afirmar que todos os sistemas de visão computacional envolvem reconhecimento de objetos em imagens e transformação desses objetos em informações que serão processadas e utilizadas por algum sistema especialista.

Sistemas de visão computacional estão associados a técnicas de Processamento Digital de Imagens - PDI e Análise Digital de Imagens – ADI (PEDRINI & SCHWARTZ, 2008), devido a essas técnicas é possível extrair, manipular e analisar informações contidas em imagens. As técnicas em questão serão abordadas no decorrer do trabalho.

## 1.3. IMAGEM DIGITAL

Imagem digital é interpretada pelo computador como uma imagem bidimensional, ou seja, através de números binários codificados, permitindo o seu armazenamento, transferência, impressão ou reprodução e seu processamento por meios eletrônicos. Em 1957, foi criada a primeira imagem digital (KIRSCH, 1957).

Existem dois tipos fundamentais de imagem digital: rastreio (*raster*) e vetorial.

As imagens digitais do tipo *raster*, ou *bitmap*, ou ainda matricial, são imagens capturadas a partir de uma câmera fotográfica, cuja sua representação é bidimensional, formada por um conjunto finito de pontos definidos por valores numéricos dando origem a uma matriz matemática, onde cada ponto representa um *pixel*[1]. Cada *pixel* é representado por três cores básicas, vermelho, verde e azul; conhecido como RGB, onde cada uma dessas cores possuem 256 tonalidades, da mais clara a mais escura e a soma delas resultam num ponto colorido da imagem final. Quanto maior o número de *pixels*, maior será o volume de informações armazenadas, ou seja, melhor será a qualidade da imagem (GOMEZ, 2014).

A imagem do tipo vetorial é criada a partir de *softwares* destinados para elaboração de desenhos técnicos. Antigamente dependia de equipamentos de desenho controlados numericamente como uma *plotter* de traçagem e, sendo dependente de interpretação pelo dispositivo. Para a criação de uma imagem eram necessárias poucas informações, tais como: tipo de linha, cor, espessura,

[1] Pixel: *Picture element* (“elemento da imagem”, em inglês), é a menor unidade de uma imagem digital.

ponto inicial e ponto final. Atualmente essas *plotters* foram substituídas por *plotters* de rastreamento que antes de efetuarem uma impressão, primeiramente fazem a conversão de um desenho vetorial para um desenho de rastreio. Na figura 1, pode-se visualizar a diferença entre uma imagem de rastreio e uma imagem vetorial.

Para se trabalhar com uma imagem digital do tipo *raster* é necessário representá-la discretamente, pois é a forma que os computadores representam uma informação. Normalmente as imagens são transformadas em escala de cinza antes de serem processadas (MCREYNOLDS & BLYTHE, 2005).

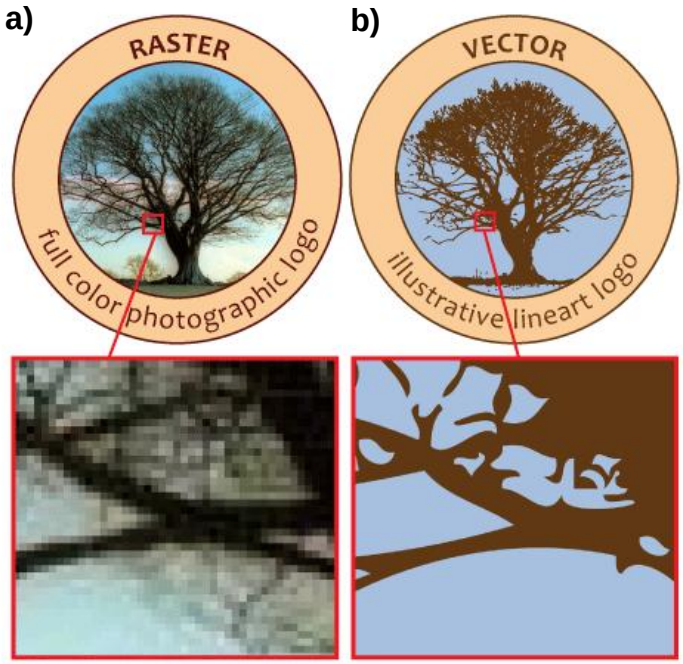



**Figura 1 - (a) Representação de uma imagem do tipo *raster*; (b) Representação de uma imagem vetorial.**

Fonte: GOMEZ, 2015.[2]

Segundo McReynolds e Blythe (2005), o armazenamento de uma imagem é realizado através de uma matriz de *pixels*, onde cada *pixel* pode ser um simples componente escalar ou um vetor de valores escalares separados para cada componente de cor. Geralmente os algoritmos de processamento de

[2] Disponível em: < http://vector-conversions.com/vectorizing/raster_vs_vector.html>. Acesso em fev. 2015.

imagens trabalham com imagens em escala de cinza, devido à escala de cinza assumir valores entre 0 a 255, tornando o pixel um componente escalar simples. A figura 2 mostra uma imagem digital capturada por um satélite, à região selecionada na figura é demonstrada como uma matriz de *pixels*, que é o modo como um computador mapeia uma imagem digital.

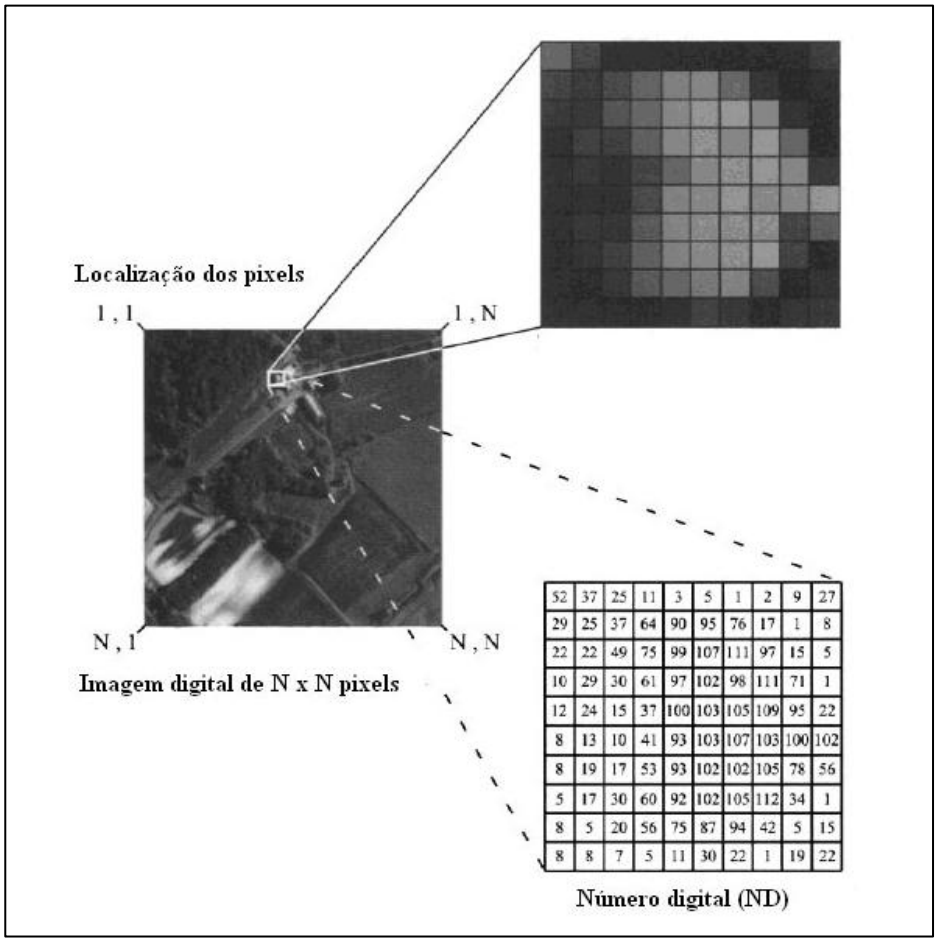



**Figura 2 - Imagem digital (matriz de valores).**

Fonte: IPMA, 2014.[3]

[3] Disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/educativa/observar.tempo/index.jsp?page=satelite03.xml&print=true.> Acesso em dez. 2014.

## 1.4. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Processamento Digital de Imagens - PDI consiste na utilização de operações matemáticas a fim de modificar os valores dos *pixels* da imagem, proporcionando uma melhoria na qualidade da mesma, deixando-a preparada para uma possível análise (PACIORNIK, 2007).

As técnicas envolvidas em PDI são conhecidas como métodos de baixo nível, devido à utilização de pouco conhecimento sobre conteúdo e semântica das imagens. As imagens utilizadas nesse processo podem ser capturadas de diversos equipamentos, como: tomógrafos médicos, câmeras de vídeo, câmeras fotográficas, satélites, entre outros. Para processar uma imagem em um computador primeiramente há a necessidade de capturar ou digitalizar e converter a imagem para o formato adequado (PEDRINI & SCHWARTZ, 2008).

A figura 2 é um exemplo de como uma imagem é representada num processamento de baixo nível, ou seja, como uma matriz retangular com elementos correspondentes a valores referentes ao brilho da imagem.

Um sistema de processamento de imagens é constituído de várias etapas, figura 3.

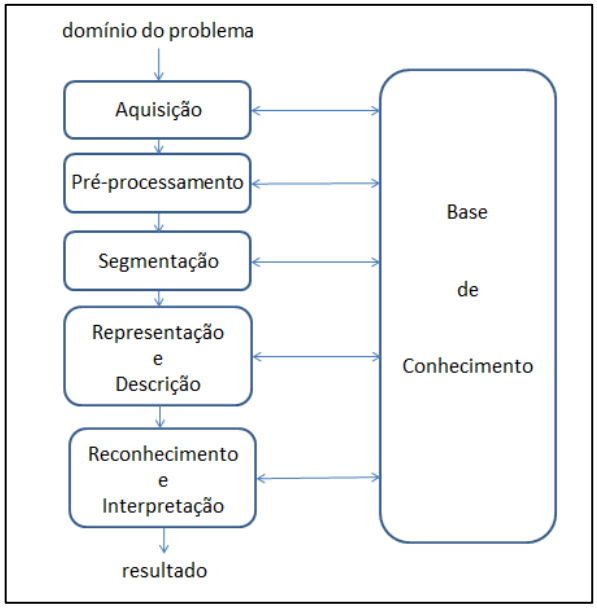



**Figura 3 - Etapas de um sistema de processamento de imagens.**

Fonte: PEDRINI & SCHWARTZ, 2008.

Descrição das etapas de um processamento de imagens:

- Aquisição: responsável pela obtenção da imagem através de um dispositivo ou sensor e converte-la em uma representação adequada para o processamento digital subsequente (PEDRINI & SCHWARTZ, 2008);
- Pré-processamento: responsável pela melhoria da qualidade da imagem utilizando técnicas para atenuação de ruído, correção de contraste e brilho e suavização de determinadas propriedades da imagem (PEDRINI & SCHWARTZ, 2008);
- Segmentação: responsável pela extração e identificação de áreas de interesse contidas na imagem (PEDRINI & SCHWARTZ, 2008);
- Representação e Descrição: a representação é utilizada no armazenamento e manipulação dos objetos extraídos da imagem, já a descrição tem a finalidade de extrair as características ou propriedades que possam ser utilizadas (PEDRINI & SCHWARTZ, 2008);
- Reconhecimento e Interpretação: reconhecer uma imagem é o processo de atribuir uma identificação aos objetos da imagem com base em suas características e interpretá-las consiste em atribuir um significado ao conjunto de objetos reconhecidos (PEDRINI & SCHWARTZ, 2008).

O processamento digital de imagens trabalha em conjunto com a análise digital de imagens em prol de alcançar resultados impossíveis de se obter manualmente (PACIORNIK, 2007). A seguir, uma breve explanação sobre análise digital de imagens (PEDRINI & SCHWARTZ, 2008).

## 1.5. ANÁLISE DIGITAL DE IMAGENS

Análise Digital de Imagens - ADI baseia-se na forma, na textura, nos níveis de cinza ou nas cores dos objetos existentes nas imagens. Uma dificuldade inerente ao processo de análise é seu caráter multidisciplinar, em que diversos domínios de conhecimento são comumente necessários para solucionar satisfatoriamente o problema, tais como geometria computacional,

visualização científica, estatística, teoria da informação e muitos outros (PEDRINI & SCHWARTZ, 2008).

A ADI é caracterizada como métodos de alto nível, pois envolvem tarefas como segmentação da imagem em regiões ou objetos de interesse, descrição desses objetos de modo a reduzi-los a uma forma mais apropriada para representar o conteúdo da imagem e reconhecimento ou classificação desses objetos. Características comuns utilizadas para descrever objetos incluem bordas, dimensões do objeto, cores, texturas e muitas outras (PEDRINI & SCHWARTZ, 2008).

## 1.6. LÓGICA PARACONSISTENTE

Em aplicações reais destaca-se o fato de que a Lógica Clássica é binária, admitindo apenas dois valores que podem ser verdadeiro ou falso. Devido a sua característica binária (níveis 0 ou 1), em algumas situações a Lógica Clássica não retrata de modo satisfatório o mundo real, que é incompleto e contraditório. Considerando a ineficácia da Lógica Clássica em responder satisfatoriamente sinais de informação representados de modo incompleto ou contraditórios recentemente têm surgidos diversas lógicas consideradas não clássicas indicadas para aplicações diretas em inúmeros campos do conhecimento. A Lógica Paraconsistente – LP é considerada uma lógica não-Clássica, pois diferente da Lógica Clássica ou tradicional, que só trabalha com condições verdadeiras ou falsas, admite o tratamento de informações contraditórias na sua estrutura teórica (DA SILVA FILHO, 2006, 2007).

## 1.7. LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA

A Lógica Paraconsistente Anotada – LPA aplica os conceitos teóricos da Lógica Paraconsistente em diversos campos. Ela pode ser representada de modo particular, através de um reticulado de quatro vértices em que, intuitivamente, as constantes de anotação nos vértices do reticulado vão dar

conotações de estados lógicos extremos às proposições, permitindo assim uma descrição e equacionamento por meio de algoritmos (DA SILVA FILHO & BAPTISTA, 2012, 2013). Através da LPA obtêm-se uma representação sobre o quanto as anotações, ou evidências, expressam o conhecimento sobre uma proposição *P* (DA SILVA FILHO, 2006).

A LPA faz tratamento de sinais representados por anotações. Cada anotação, pertencente a um reticulado finito, atribui valores a sua correspondente fórmula proposicional, permitindo assim uma descrição e equacionamento por meio de algoritmos (DA SILVA FILHO, 2007).

Nesta área de tratamento de incertezas a Lógica Paraconsistente Anotada LPA também se destaca pelos métodos eficientes em tratar informações contraditórias valorizando estas informações que podem trazer evidências para estruturar resultados que retratam melhor a realidade (DA SILVA FILHO, 2006).

## 1.8. LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA COM ANOTAÇÃO DE DOIS VALORES

A Lógica Paraconsistente Anotada com Anotação de dois valores – LPA2v é uma extensão da LPA. Nesta representação utiliza-se uma anotação composta por dois valores, sendo o primeiro valor o representante de uma evidência favorável à proposição *P*, e o segundo uma evidência contrária.

A LPA2v faz o tratamento de contradições através da análise de evidências favoráveis e desfavoráveis a uma determinada Proposição que se deseja analisar. Por meio destas análises, a LPA2v pode modificar o comportamento de um sistema a fim de reduzir a intensidade de contradições.

Neste trabalho é desenvolvido um modelo Lógico estruturado em algoritmos extraídos da LPA para efetuar medições em peças mecânicas. Para o desenvolvimento do aplicativo foi utilizado um algoritmo denominado de Célula Neural Artificial Paraconsistente de Aprendizagem – CNAPap. Procura-se através de valores padrões aplicados repetitivamente em sua entrada aumentar a confiabilidade nas medições. Nos próximos capítulos serão

apresentados detalhes da LPA e seus algoritmos paraconsistentes entre estes a CNAPap.

## 1.9. REDE NEURAL ARTIFICIAL PARACONSISTENTE

As Redes Neurais Artificiais Paraconsistentes – RNAP são compostas de algoritmos extraídos dos fundamentos da LPA denominados de Células Neurais Artificiais Paraconsistentes – CNAPs. As CNAPs, quando interligadas convenientemente, compõem os sistemas paraconsistentes de processamento de dados inspirados na organização física do cérebro humano (DA SILVA FILHO, 2006, 2007; BAPTISTA, 2013). Uma das mais importantes CNAPs que compõem a RNAP é a Célula Neural Artificial Paraconsistente de aprendizagem – CNAPap (DA SILVA FILHO, 2006) e cujas principais características serão descrita na sequência.

## 1.10. CÉLULA NEURAL ARTIFICIAL PARACONSISTENTE DE APRENDIZAGEM

A Célula Neural Artificial Paraconsistente de Aprendizagem – CNAPap é uma estrutura composta por algoritmo baseado em LPA2v com uma saída ($\mu_{1r}$) interligada à entrada do grau de evidência desfavorável complementando ($\mu_{2c}$), conforme figura 4.

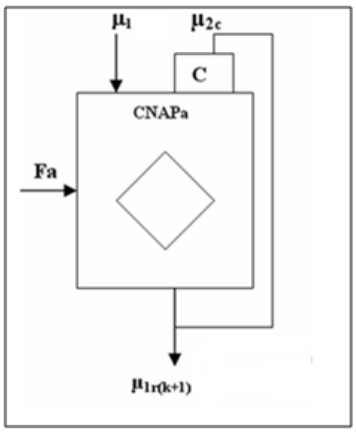



**Figura 4 - Símbolo da CNAPap interligada para aprendizagem do *padrão de verdade* $\mu_1$.**

Fonte: MARIO, 2012.

Quando a saída assume o valor aplicado à entrada de evidência favorável, após sucessivos passos repetitivos, considera-se que houve um aprendizado da CNAPap (DA SILVA FILHO, 2007). A CNAPap ainda possui um Fator de Ajuste ou de Aprendizado – Fa, este é responsável por aumentar ou diminuir a rapidez com que o aprendizado se comporta. Dependendo do valor de Fa, será proporcionado uma aprendizagem mais rápida ou mais lenta a CNAPap. Sendo: $0 \leq F_a \leq 1$ e considerando um processo de aprendizagem do padrão de verdade.

## 1.11. ALGORITMO DA CNAPap

Uma CNAPap pode ser treinada para aprender um padrão utilizando o método de análise paraconsistente aplicado através de um algoritmo. No processo de aprendizagem onde são utilizados como padrões valores reais entre 0 e 1 considera-se uma equação para cálculos de valores de graus de crença resultantes sucessivos $\mu_{r(k)}$ até chegar ao valor 1. Portanto para um valor de grau de crença $\mu_{r(k)}$ inicial, são obtidos valores $\mu_{r(k+1)}$ até que $\mu_{r(k+1)} = 1$. Considerando um processo de aprendizagem do *padrão de verdade*, portanto, valor de entrada 1, a equação de aprendizagem é (MARIO; FERRARA; DA SILVA FILHO, 2007):

$$\mu_{E(K+1)} = \frac{\{\mu_1 - (\mu_{E(K)C})\, F_A\} + 1}{2} \qquad (1)$$

onde: $\mu_{E(k)C} = 1 - \mu_{E(k)}$

$k$ é $o\ número\ de\ iterações\ com\ a\ aplicação\ do\ padrão\ na\ entrada.$

$F_a =$ Fator de Aprendizagem $0 \leq F_a \leq 1$

E para um processo de aprendizagem do *padrão de falsidade*, portanto, valor de entrada 0, a equação é:

$$\mu_{E(K+1)} = \frac{\{\mu_{1C} - (\mu_{E(K)C})\, F_a\} + 1}{2} \quad (2)$$

onde: $\mu_{1C} = 1 - \mu_1$ sendo $F_a$= Fator de Aprendizagem $0 \leq F_a \leq 1$

Para os dois casos considera-se a célula completamente treinada quando: $\mu_{E(K)C} = 1$.

O fator de aprendizagem $F_a$ é um valor real, igual ou maior que 0, atribuído arbitrariamente por ajustes externos. Quanto maior o valor de $F_a$, maior é a rapidez de aprendizado da Célula. Se $F_a = 1$ dizemos que a célula tem uma capacidade natural de aprendizagem. A capacidade natural vai diminuindo à medida que o ajuste de $F_a$ se aproxima de 0 (MARIO; FERRARA; DA SILVA FILHO, 2007).

O algoritmo que elabora a aprendizagem do *padrão de verdade* é mostrado a seguir:

1. Início: $\mu_{Er} = ½$ */Célula virgem*/
2. Defina: $F_a = C_1$ onde $0 \leq C_1 \leq 1$ */Entra com o valor do Fator de aprendizagem*/
3. Faça: $\mu_2 = \mu_{Er}$ */Conecta a saída da célula na entrada do grau de evidência desfavorável*/
4. Faça: $\mu_{2C} = 1 - \mu_2$ */Aplica o Operador Complemento no valor aplicado na entrada do grau de evidência desfavorável*/
5. Faça: $\mu_1 = 1$ */Aplica o padrão de verdade*/
6. Faça: $G_C = \mu_1 - \mu_{2C}$ */Calcula o grau de certeza*/
7. Faça: $\mu_{Er} = \{(G_C \times C_1) + 1\} \div 2$ */Encontra o grau de evidência resultante da saída pela equação da análise paraconsistente*/
8. Se $\mu_{Er} \neq 1$ */Retorna ao passo 3*/
9. Pare

(MARIO; FERRARA; DA SILVA FILHO, 2007).

## 1.12. METROLOGIA

Metrologia é a ciência que estuda as medições a qual se aplica a todas as áreas em que é necessária a utilização da tecnologia de medição. Baseada em normas que definem requisitos, padrões e procedimentos para uma avaliação dimensional de um produto, a Metrologia tem como foco prover confiabilidade, credibilidade e qualidade às medidas (INMETRO, 2000).

A Metrologia é dividida em três grandes áreas de atuação: científica, industrial e legal.

- Metrologia científica: responsável pela calibração de instrumentos laboratoriais, pesquisas e metodologias científicas baseadas em padrões nacionais e internacionais (INMETRO, 2000);
- Metrologia industrial: responsável pela garantia da qualidade dos produtos finais, onde sistemas de medição controlam processos produtivos industriais (INMETRO, 2000);
- Metrologia legal: responsável pelo controle e fiscalização de todos aqueles instrumentos e medidas que estão relacionadas com o consumidor (INMETRO, 2000).

Medir consiste em uma sequência lógica de operações, usadas na execução das medições para se obter uma medida adequada. As categorias de um processo de medição são divididas em dois métodos: direto e indireto.

1. Método direto: emprega-se diretamente o equipamento de medição para obtenção do resultado da medida (PAULI, 1996);
2. Método indireto: utiliza-se a comparação de um valor desconhecido com um valor conhecido (PAULI, 1996).

A extração das dimensões de um objeto é realizada através de instrumentos de medições convencionais como régua, paquímetro, micrômetro e etc. (MOCROSKY & BORGES, 2007). Além desses instrumentos, existem as máquinas de medição, por exemplo: máquina de Abbé, microscópios de medição, projetores de perfil, mesas divisoras, máquinas de medir por coordenadas, entre outras (BOSCH, 1995).

Atualmente as máquinas de medição estão perdendo cada vez mais a sua importância devido a aspectos que envolvem um investimento financeiro alto e o fato de serem concebidas especialmente para medir um determinado

grupo de peças. Baseado nesses fatos, a automação da Metrologia Dimensional tem como foco a elaboração de sistemas de medição mais acessíveis financeiramente e o aprimoramento de técnicas de medição (ARENHART, 2007).

## 1.13. MEDIÇÃO DE PEÇAS APLICADA À INDÚSTRIA

Medir uma peça elaborada a partir de um processo industrial significa garantir a qualidade do produto final num processo de fabricação proporcionando para empresa uma maior confiabilidade em seus produtos desenvolvidos. Para que se consiga este objetivo, as informações extraídas em um processo de medição devem ser confiáveis e consistentes, papel esse que cabe à Metrologia (DONATELLI, 2006). Segundo Lima (2006), os grandes desafios residem na medição de peças fundidas de médio e grande porte, principalmente aquelas caracterizadas pela presença de superfícies livres.

As medidas podem ser obtidas a partir de instrumentos convencionais, tais como: trena, paquímetro, traçador de altura, micrômetro, relógio comparador, rugosímetro, entre outros. Além dos instrumentos citados, existem também, máquinas de medição, como máquina de Abbé, microscópio de medição, projetores de perfil, máquinas dedicadas, mesas divisoras, máquinas de medição por coordenadas, braços articulados e etc. (LIMA, 2006).

Nos processos de medições nas indústrias geralmente são utilizados gabaritos, blocos padrão ou peças padrão calibradas, em prol de garantir a conformidade dimensional na produção. Qualquer peça pode ser utilizada como padrão desde que a mesma possua um baixo erro e seja estável fisicamente, sendo a magnitude desta estabilidade dada em função da aplicação da peça padrão (SCHNEIDER, 1995).

As peças padrão são utilizadas na zeragem de dispositivos de controle, na verificação dos sistemas de medição que realizam o controle geométrico no chão-de-fábrica, como padrão para medição pelo método de substituição (SCHWENKE, 1997), e como verificação da estabilidade de processo de medição (WINCHELL, 1996). Geralmente são peças retiradas da produção e posteriormente calibradas em sistemas de medição com o nível de incerteza

adequado (SCHNEIDER, 1995). Essas peças têm como objetivo facilitar a rastreabilidade das medições realizadas na indústria. Na figura 5, pode-se visualizar blocos padrão e peças padrão utilizadas na calibração de instrumentos ou em sistemas de medição como padrão para averiguar a conformidade das demais.

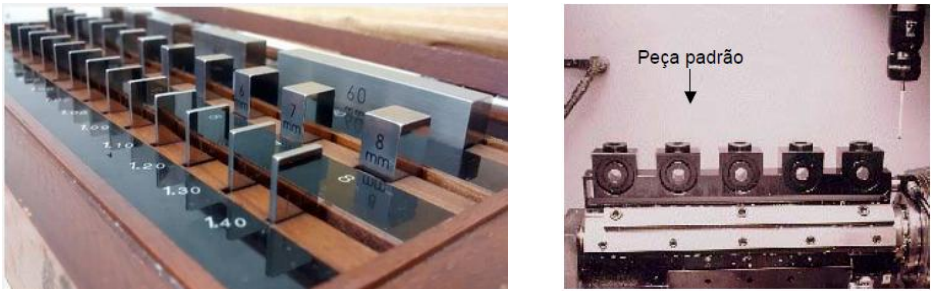



**Figura 5 - Blocos padrão e peças mecânicas.**

Fonte: MITUTOYO & RAMTIC, 2015.[4] [5]

Os principais requisitos e características de uma peça padrão é que as mesmas deverão possuir estabilidade física e geométrica frente a fatores térmicos, mecânicos e ao longo do tempo, bem como deverá ser comprovada a rastreabilidade da medição de suas características, as quais devem ser verificadas periodicamente através de calibrações em sistemas de medição (NBR ISO/IEC 17025, 2001). Independente do objetivo de utilização, preferencialmente as peças padrão devem ser idênticas às características da peça que se deseja controlar, devido às questões funcionais da mesma (EAL, 1995).

O resultado de uma medição ou do valor de um padrão está relacionado a referências estabelecidas, geralmente a padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas (INMETRO, 1995).

A seguir serão demonstrados alguns instrumentos baseados em tecnologias de medição por contato, utilizados no controle dimensional de peças.

---

[4] Disponível em: < http://www.mitutoyo.com.br/produtos/instrumentos/pdf-/cal1.pdf >. Acessado em: fev. 2015.

[5] Disponível em: < http://www.renishaw.com >. Acessado em: fev. 2015

## 1.14. INSTRUMENTOS/SISTEMAS DE MEDIÇÃO POR CONTATO

Neste item será abordada uma breve descrição sobre alguns instrumentos ou sistemas de medição por contato empregado na indústria para controle de dimensional de peças.

- Traçadores de altura: é um instrumento semelhante ao paquímetro, utilizado para medir, traçar peças, auxiliar na verificação de nivelamento, paralelismo, entre outros parâmetros (MITUTOYO, 2005). Para a utilização desse instrumento deve-se ressaltar a perpendicularidade em relação à base de apoio, com relação à calibração é feita com o auxílio de blocos padrão de diferentes comprimentos, conforme ABNT NBR 11309. Na figura 6, alguns modelos de traçadores de altura;

**Figura 6 - Traçadores de altura.**

Fonte: MITUTOYO, 2005.

- Máquinas de Medição por Coordenadas: nestas máquinas as coordenadas são medidas com contato, onde a informação sobre a geometria da peça é obtida apalpando a superfície em pontos de medição discretos e as coordenadas desses pontos são expressas em um sistema de referência pré-determinado. Essas máquinas são classificadas em dois tipos: Máquinas de Medição por Coordenadas Cartesianas – MMCs e os Braços Articulados de Medição – BAMs (BOSCH, 1995);

- MMCs: essas máquinas podem adquirir a informação sobre a superfície da peça de duas modalidades de apalpação diferentes: ponto a ponto ou por varredura. Ponto a ponto, o apalpador se aproxima da superfície da peça numa direção que pode ser normal à superfície da mesma ou coincidir com um dos eixos coordenados da máquina. Varredura, o sensor permanece em contato com a superfície da peça e se desloca em uma direção pré-determinada (BOSCH, 1995), figura 7;

**Figura 7 - Máquinas de Medição por Coordenadas Cartesianas.**

Fonte: MITUTOYO, 2005.

- BAMs: essas máquinas usam uma série de articulações compondo 5, 6, ou 7 graus de liberdade e medidores angulares de precisão para determinar a posição de um apalpador no espaço tridimensional, onde o posicionamento da peça é feito manualmente e o volume da medição é esférico (SOUSA, 2003), figura 8.

**Figura 8 - Braços articulados de medição.**

Fonte: FARO, 2015.[6]

As MMCs são apropriadas para o controle dimensional de peças de geometrias complexas com alta confiabilidade metrológica e incertezas relativamente baixas. Porém, não são adequadas para medir em ambientes de uma fundição típica, pois nesses ambientes um sistema de medição deve ser robusto, fácil de transportar, insensível às vibrações e às variações de temperatura (NEROSKY, 2001). Já os braços articulados são adequados a esse tipo de situação, devido a suas configurações e características construtivas, os BAMs possuem algumas vantagens em relação às MMCs, tais como: portabilidade, entre o volume de medição e o tamanho do equipamento e um menor custo (SOUSA, 2003).

As desvantagens dos BAMs em relação às MMCs são as incertezas de medição que são relativamente maiores, pois dependem fortemente da habilidade do operador e a rigidez da fixação do braço com relação à peça, esses são considerados pontos críticos, que degradam o desempenho metrológico do sistema de medição (SOUSA, 2003).

Os sistemas de medição por contato nem sempre podem ser considerados uma solução ótima devido ao alto investimento, a falta de portabilidade e a restrição com relação ao tamanho e forma das peças as quais se desejam medir. Devido a esses fatores os sistemas baseados em fotogrametria surgem como uma opção bastante convidativa, por possibilitarem

[6] Disponível em: < http://www.faro.com >. Acesso em: fev. 2015.

a medição sem contato através de análise de imagens bidimensionais (FRYER, 1996).

## 1.15. METROLOGIA POR IMAGEM

Metrologia por imagem é a ciência que utiliza conceitos de Visão Computacional para extrair informações úteis de uma imagem a fim de analisar padrões ao qual se deseja estudar (LETA, 2012).

Considerada como a técnica de medição sem contato, nela utiliza-se algoritmos computacionais, para analisar as imagens em questão. Através desses algoritmos é possível identificar falhas em peças, posicionar braços mecânicos, analisar conformidade de peças mecânicas, dimensionar o tamanho de objetos e etc. Geralmente os algoritmos são desenvolvidos para uma situação específica a qual se deseja analisar (FELICIANO, 2005).

Em sistemas desse tipo além de serem desenvolvidos com o intuito de extrair características de imagens, é possível desenvolver processos de filtragem em prol de melhorar a qualidade da imagem estudada, minimizar ruídos, acentuar objetos ou regiões de interesse (PEDRINI & SCHWARTZ, 2008).

Aplicativos que envolvem essa ciência estão sendo cada vez mais utilizados como uma ferramenta de auxílio a diversas análises, por exemplo: em análise de conformidade de peças elaboradas a partir de um processo industrial, em diagnósticos na área da medicina, em análise da qualidade de grãos na área da agricultura, entre outras (PEDRINI & SCHWARTZ, 2008).

A utilização de sistemas de Metrologia por imagem tem gerado melhores resultados devido ao fato de possibilitar um número maior de análises e avaliações referente ao material estudado, já os métodos convencionais de Metrologia são dependentes do operador. São procedimentos lentos e meticulosos. A fadiga dos operadores leva a erros (FELICIANO, 2005).

Segundo estudos realizados por Feliciano et al. (2005), ao trabalhar com extração de características de imagens, deve-se tomar cuidado com alguns fatores principais, tais como: qualidade da imagem, pré-processamento, segmentação, sombra e iluminação.

## 1.16. CARACTERÍSTICAS DA LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO JAVA

*Java* é uma linguagem de programação que proporciona o desenvolvimento de aplicações em áreas tecnológicas como aplicações distribuídas em rede e na Web, aplicações para dispositivos portáteis entre outras (DEITEL & DEITEL, 2010). Sua plataforma foi desenvolvida pela Sun Microsystems e apresentada em 1995 (HORSTMANN & CORNELL, 2003).

Essa linguagem permite o desenvolvimento de aplicações orientadas a objetos, onde utiliza-se métodos e classes para a manipulação de dados de modo a modularizar as aplicações desenvolvidas, assim, facilitando o reuso e a manutenção de um código já implementado (CAMPIONE, 1996).

*Java* possui um conjunto de bibliotecas inclusas no JDK conhecido como *Java API* (*Application Programming Interfaces*). Essas bibliotecas possuem um conjunto de classes organizadas em pacotes. Cada um desses pacotes traz classes com funcionalidade básica e vital para um determinado ramo de programação (DEITEL & DEITEL, 2010).

Neste trabalho foi utilizado uma API do *Java* chamada de *Java 2D.* Essa API permite a manipulação avançada de imagens digitais (HORSTMANN & CORNELL, 2003). Sua funcionalidade será demonstrada na metodologia, onde serão abordados os conceitos e as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento do aplicativo de medição de peças.

# 2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo computacional para a estimação de medidas de peças mecânicas através de imagens digitais, com o intuito de aprimorar os valores de medição por meio da comparação com valores de referência e interações computacionais que são feitas através deste modelo proposto. Para o desenvolvimento do modelo computacional voltada à Metrologia Dimensional baseado em Visão Computacional, é necessário aplicar os conceitos extraídos dos fundamentos da Lógica Paraconsistente Anotada e as técnicas de Processamento Digital de Imagens e Análise Digital de Imagens.

## 2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo específico deste trabalho consiste no desenvolvimento de um modelo computacional em linguagem de programação *JAVA* utilizando as técnicas e conceitos mencionados anteriormente, composto pelas seguintes funcionalidades descritas nas etapas abaixo:

1. Requisitar imagens digitais de peças mecânicas capturadas a partir de uma câmera digital, as quais serão capturadas no formato *JPEG*;
2. Redimensionar as imagens com a finalidade de facilitar a visualização da peça;
3. Selecionar o tipo de medida que se deseja efetuar: altura ou largura;
4. Inserir um valor de medida padrão em milímetros e referenciar esse valor na região da peça que será efetuada as medições;
5. Fazer interações com o *mouse* a fim de se obter as medidas em milímetros;
6. Utilizar a Célula Neural Artificial Paraconsistente de Aprendizagem como indicador de convergência com o intuito de proporcionar uma estabilidade nas medições.

# 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo detalha as etapas do desenvolvimento da ferramenta. São ilustrados os principais requisitos, o algoritmo e a implementação do modelo computacional.

## 3.1. DESENVOLVIMENTO DO MODELO COMPUTACIONAL DE MEDIÇÃO

Baseado em conceitos de LPA2v foi desenvolvido um modelo computacional, onde permite a interação do usuário com o aplicativo desenvolvido especialmente para determinar dimensões de peças mecânicas construídas a partir de um processo industrial.

A ferramenta desenvolvida foi estruturada em linguagem de programação JAVA (DEITEL & DEITEL, 2010) e como recurso desta linguagem foram utilizadas uma API chamada JAVA 2D (HORTSMAN & CORNELL, 2003) e uma interface chamada GUI (DEITEL & DEITEL, 2010), pois estas possibilitam a manipulação avançada de imagens, a criação de telas para facilitar a interação com o usuário e entre outras aplicações.

Na figura 9 pode-se visualizar a tela de interação com o usuário do modelo em estudo. A seguir, serão detalhadas informações sobre os campos específicos do aplicativo.

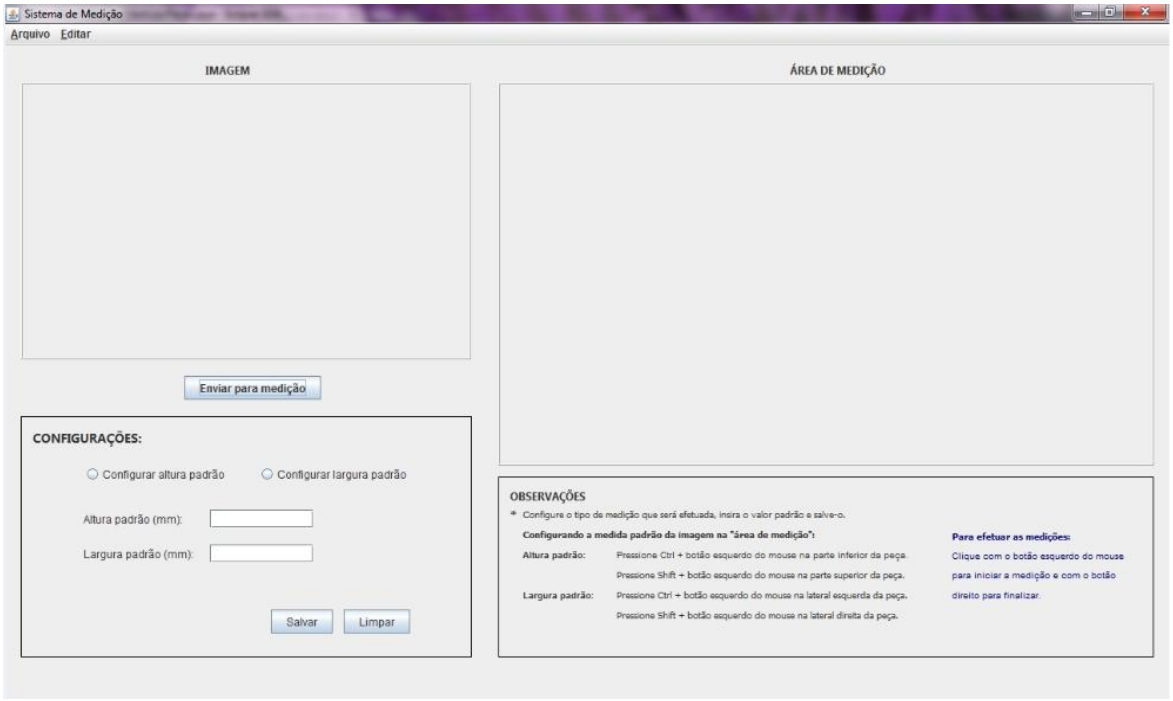



**Figura 9 - Vista geral da tela do aplicativo.**

Como pode-se observar na figura 9, a tela está dividida em quatro partes: imagem, área de medição, configurações e observações.

- Imagem: quando o usuário requisita uma imagem digital, esta é visualizada no seu tamanho real no campo em questão;
- Área de medição: neste campo, assim que o usuário definiu a imagem que será analisada que por sua vez a mesma já está sendo visualizada no campo “Imagem”, ao pressionar o botão “Enviar para medição”, a imagem original será redimensionada a fim de facilitar sua visualização;
- Configurações: antes de inicializar a medição na imagem requisitava é necessário efetuar algumas configurações básicas, tais como, definir primeiramente se será realizado uma medição referente à altura ou largura, em seguida inserir um valor padrão referente à região que se deseja medir e por fim pressione o botão “Salvar” para que sejam armazenadas as configurações iniciais;
- Observações: neste campo segue apenas instruções rápidas sobre o uso do aplicativo.

Na figura 10, temos a demonstração dos menus existentes no modelo desenvolvido.

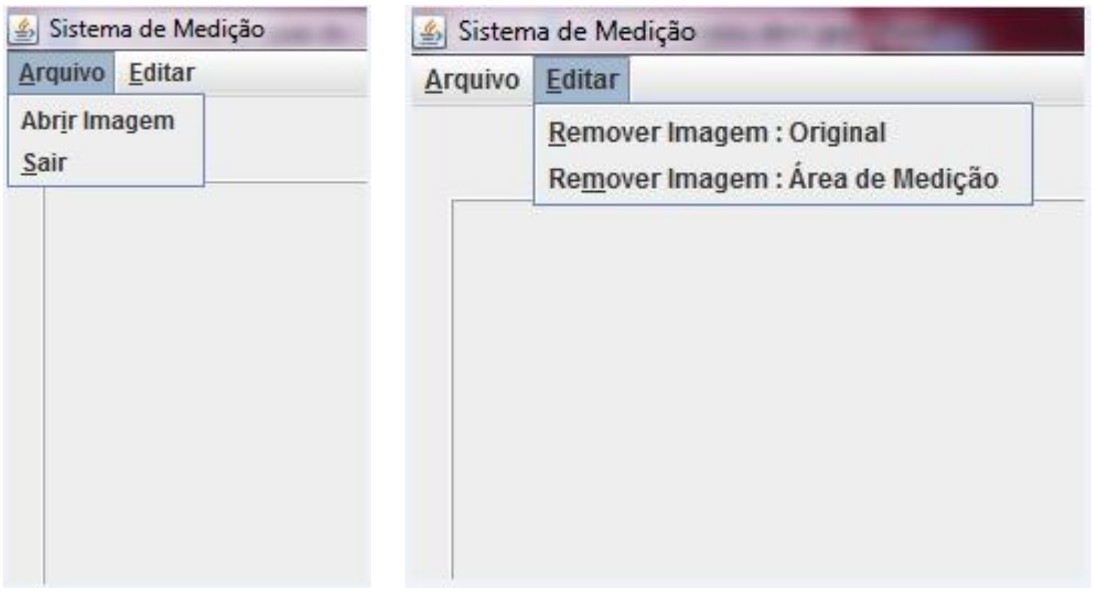



**Figura 10 - Menus.**

Ao acessar o menu “Abrir” temos dois sub-menus: “Abrir Imagem” e “Sair”. Ao clicar em “Abrir Imagem”, abrirá em seguida uma tela para que o usuário acesse a pasta ou diretório onde se encontram as imagens que serão utilizadas no modelo computacional em estudo. Ao clicar em “Sair” o aplicativo é encerrado.

Ao acessar o menu “Editar” encontra-se dois sub-menus: “Remover Imagem: Original” e “Remover Imagem: Área de Medição”. Neste menu ambas as opções tem a finalidade de remover a imagem só que uma é referente a imagem original requisitada e a outra pela imagem que está na área de medição.

## 3.2. ESTRUTURA DA APLICAÇÃO PARA MEDIÇÃO DIGITAL DAS PEÇAS

Para a utilização do modelo computacional deve-se inicialmente capturar as imagens digitais das peças que serão utilizadas no modelo em estudo com o auxílio de uma câmera digital.

As imagens que serão visualizadas no decorrer do trabalho foram capturadas através de uma câmera da marca *Nikon* modelo D90, que tem a capacidade de capturar imagens em 10.2 *Megapixels*, utilizando uma lente *Nikon* DX (af-s nikkor 18-55 mm 1:3.5 – 5.6 GII ED). As imagens utilizadas nos testes do modelo computacional estão na resolução de 4288 x 2848 *pixels* e no formato *JPEG*.

No quadro 1, o algoritmo demonstra a elaboração do processo de inserção da imagem no modelo em questão:

```
Início
    Escolher imagem no formato JPEG
    Se formato da imagem = JPEG então
        Carregar imagem para painel "IMAGEM"
        Se botão "Enviar para medição" for pressionado então
            Redimensionar a imagem do painel "IMAGEM"
            Enviar imagem para painel "ÁREA DE MEDIÇÃO"
        Fim-se
    Fim-se
    Se formato da imagem ≠ JPEG então
        Mostrar ("Não é possível abrir a imagem.")
        Retornar ao Início
    Fim-se
Fim
```

**Quadro 1 - Algoritmo de inserção de imagem.**

De acordo com a descrição do algoritmo demonstrado no quadro 1, a imagem escolhida pelo usuário aparecerá no campo "Imagem", em seguida, deve-se pressionar o botão "Enviar para Medição", para que a imagem seja redimensionada em prol de facilitar a visualização no campo destinado à medição.

A imagem ajustada aparecerá no campo "Área de Medição" de tal forma que possa extrair as medidas em uma posição mais adequada. Na figura 11,

pode-se observar na vista geral da tela do aplicativo, os passos descritos acima.

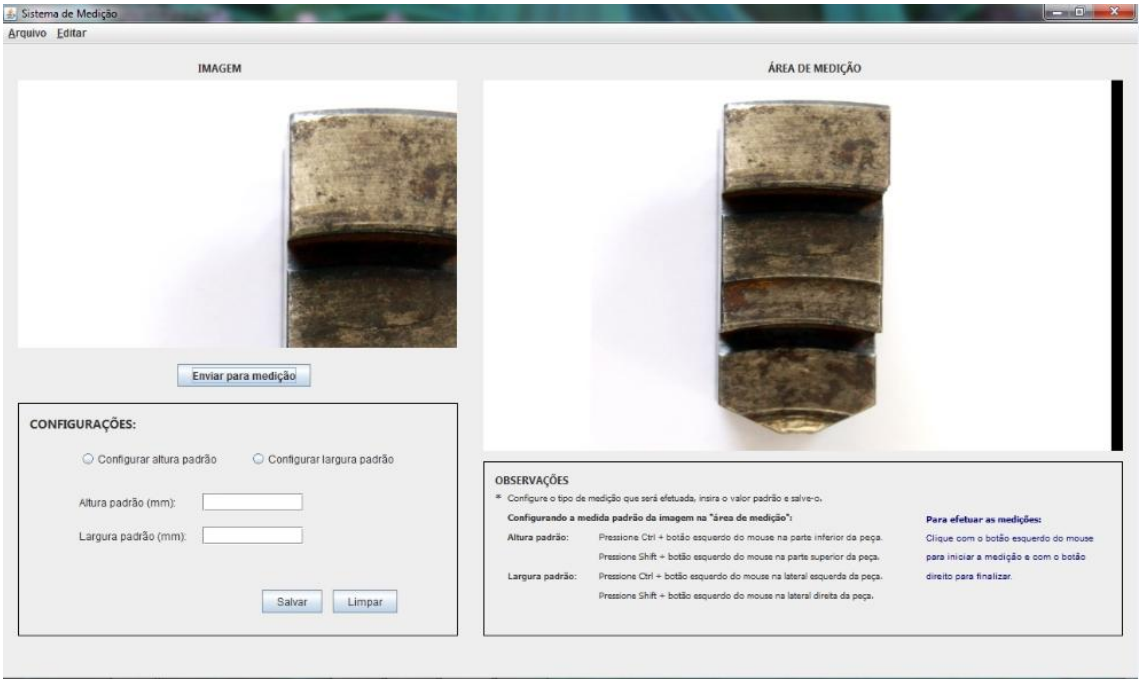



**Figura 11 - Vista geral da tela do aplicativo com uma imagem inserida.**

Após este processo, o usuário deve escolher no campo “Configurações” a opção referente à medida que de deseja fazer, como altura ou largura, demonstrado no quadro 2. Determinada a opção, deve-se referenciar um valor de medida padrão referente à opção escolhida e em seguida pressionar o botão “Salvar”, para que as configurações sejam armazenadas. Caso o usuário deseje trocar a opção ou alterar alguma informação referente ao valor padrão inserido, deve-se clicar no botão “Limpar”, este último procedimento desfaz toda a configuração que inicialmente tinha sido definida, assim, podendo estabelecer uma nova configuração.

```
Início
    var altura_padrão, largura_padrão: real
    altura_padrão ← 0
    largura_padrão ← 0
    Caso opção seja:
        altura padrão:
            escreva (“Valor da altura padrão”)
            leia ( altura_padrão)
            Se botão “Salvar” for pressionado então
                altura_padrão ← altura_padrão
            Senão
                altura_padrão ← 0
            Fim-se
        largura padrão:
            escreva (“Valor da largura padrão”)
            leia (largura_padrão)
            Se botão “Salvar” for pressionado então
                largura_padrão ← largura_padrão
            Senão
                largura_padrão ← 0
            Fim-se
        Fim-caso
        Se botão “Limpar” for pressionado então
            altura_padrão ← 0
            largura_padrão ← 0
        Fim-se
Fim
```

**Quadro 2 - Algoritmo referente à entrada de valores padrões.**

Os valores padrões utilizados para o ensaio de medição descrito no Apêndice A, foram obtidos através do uso de um paquímetro que é instrumento convencional de medição, da marca *Mitutoyo* com precisão de 0,05 mm. Já os valores padrões utilizados no ensaio de medição descrito no Apêndice B, foram obtidos através de blocos padrões, geralmente, utilizados na calibração de instrumentos de medição.

Configurada esta etapa, é necessário referenciar essa configuração na área de medição na região da imagem a qual se deseja extrair medidas. No quadro 3, demonstra-se uma visão geral da extração das medidas.

```
Início
    var  altura_yi, altura_yf, largura_xi, largura_xf, altura_padrão_pixel, largura_padrão_pixel: real
    altura_yi ← 0
    altura_yf ← 0
    largura_xi ← 0
    largura_xf ← 0
    altura_padrão_pixel ← 0
    largura_padrão_pixel ← 0

    Pressionar tecla CTRL + botão esquerdo do mouse
    Pressionar tecla SHIFT + botão esquerdo do mouse

    Caso opção seja:
        altura:
            Se tecla CTRL ^ botão esquerdo do mouse for pressionado então
                leia (coordenada y)
                altura_yi ← coordenada y
                Se tecla SHIFT ^ botão esquerdo do mouse for pressionado então
                    leia (coordenada y)
                    altura_yf ← coordenada y
                Fim-se
            Fim-se
            Altura_padrão_pixel ← altura_yf – altura_yi
            Pressionar botão esquerdo do mouse
            Pressionar botão direito do mouse
            Chama Bloco de Instruções <obter_altura>
            Mostra valor de altura

        largura padrão:
            Se tecla CTRL ^ botão esquerdo do mouse for pressionado então
                leia (coordenada x)
                largura_xi ← coordenada x
                Se tecla SHIFT ^ botão esquerdo do mouse for pressionado então
                    leia (coordenada x)
                    largura_xf ← coordenada x
                Fim-se
            Fim-se
            largura_padrão_pixel ← largura_xf – largura_xi
            Pressionar botão esquerdo do mouse
            Pressionar botão direito do mouse
            Chama Bloco de Instruções <obter_largura>
            Mostra valor de largura
        Fim-caso
Fim
```

**Quadro 3 - Algoritmo da obtenção das medidas.**

Para referenciar um valor de altura padrão deve-se pressionar a tecla *CTRL* mais o botão esquerdo do *mouse* na parte inferior da imagem da peça e em seguida pressionar a tecla *SHIFT* mais o botão esquerdo do *mouse* na parte superior da imagem da peça. Dessa forma fica referenciado ao sistema que a medida inserida inicialmente está contida no trecho que foi estabelecido, obtendo assim uma medida de altura imediata.

Se a opção escolhida anteriormente fosse referente à largura, para referenciar a largura padrão na imagem da peça é necessário pressionar a tecla *CTRL* mais o botão esquerdo do *mouse* na lateral esquerda da imagem da peça e em seguida pressionar a tecla *SHIFT* mais o botão esquerdo do *mouse* na lateral direita da imagem da peça. Referenciando-se assim o valor de largura padrão na imagem, obtendo um valor de medida de largura imediata.

Com as devidas informações referenciadas ao sistema, para se extrair medidas da imagem, basta o usuário clicar com o botão esquerdo do *mouse* na parte inferior da peça e em seguida clicar no botão direito do *mouse* na parte superior da peça, obtendo uma media referente à altura, surgindo o resultado da medição na tela demonstrada na figura 12.

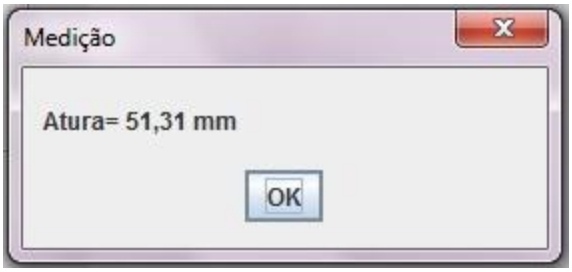



**Figura 12 - Resultado de uma medição referente à altura.**

Caso a medição a ser aferida fosse referente à largura é necessário clicar com o botão esquerdo do *mouse* na lateral esquerda da peça e em seguida com o botão direito do *mouse* na lateral direita da peça, obtendo-se assim um valor medido referente à largura como pode-se observar na figura 13.

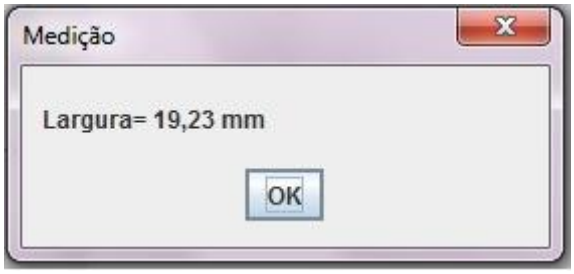



**Figura 13 - Resultado de uma medição referente à largura.**

## 3.3. CÁLCULO PARA OBTENÇÃO DA ALTURA DAS PEÇAS

A obtenção das medidas referente à altura da peça através da ferramenta computacional em estudo ocorre a partir de interações efetuadas com o *mouse*. Na sequência pode-se observar o quadro 4, onde detalha-se o algoritmo para obtenção da altura.

```
Início
    var  h, nd, yiaux, ne, yfaux, hM, hCons, hP, fa, h_mm, hPadrao, qPixels, βy, ηy, hConv:real
    yi[], yf[], i, j: inteiro
    h ← 0
    nd ← 0
    yiaux ← 0
    ne ← 0
    yfaux ← 0
    hM ← 0
    hCons ← 0,5
    hP ← 0
    fa ← 1
    h_mm ← 0
    βy ← 0
    ηy ← 0
    hConv ← 0
    hPadrao ← valor inserido pelo usuário em milímetros
    qPixels ← hPadrao //  referenciada na peça e armazenado o valor em pixels
    Enquanto botão esquerdo do mouse for pressionado faça
        yi[i] ← coordenada y
        ne ← i + 1
        yiaux ← yiaux + yi[i]
        i ← i + 1
    fim enquanto
    Enquanto botão direito do mouse for pressionado faça
        yf[i] ← coordenada y
        nd ← j + 1
        yfaux ← yfaux + yf[i]
        j ← j + 1
    fim enquanto
    h ← yfaux - yiaux
    Se (i >= 1) ^ (j >= 1) então
        hM ← (yfaux/nd) – (yiaux/ne)
        hCons ← ((1 – (hCons*fa))+1) /2
        βy = (h – hM)/h
        ηy = 1/(2^ βy)
        hConv = ηy – hCons
        h_mm ← (hP * h)/qPixels
    fim-se
fim
```

**Quadro 4 - Algoritmo para obtenção da altura.**

De acordo com o algoritmo demonstrado no quadro 4, a cada clique com o botão esquerdo do *mouse*, é marcado o ponto de referência inferior da peça. Após uma sequência de marcações com o intuito de aprimorar o ponto de altura gera os resultados parciais mostrados na figura 14.

```
x = 164  y = 282
H = 282.0
HM = 282.0
Hconv = 0.5
Hmm = 32.71823204419889

x = 151  y = 283
H = 283.0
HM = 283.0
Hconv = 0.75
Hmm = 32.83425414364641

x = 171  y = 282
H = 282.0
HM = 282.0
Hconv = 0.875
Hmm = 32.71823204419889
```

**Figura 14 - Resultados parciais da marcação da posição inferior para medida de altura.**

Este mesmo procedimento repete-se para a marcação da posição superior para medida de altura da peça, mas para esta marcação deve ser pressionado o botão direito do *mouse*, obtendo uma medida de aproximadamente 20,88 mm. Na figura 15 são mostrados os resultados finais após várias interações do usuário.

```
x = 195  y = 101
H = 181.0
HM = 144.0
Hconv = 0.9375
Hmm = 20.883977900552487

x = 156  y = 101
H = 181.0
HM = 144.0
Hconv = 0.96875
Hmm = 20.883977900552487

x = 217  y = 102
H = 180.0
HM = 144.0
Hconv = 1.0097768584555068
Hmm = 20.883977900552487
```

**Figura 15 - Resultados finais da marcação da posição superior para medida de altura.**

Para obter os dados descritos nas figuras 14 e 15, inicialmente quando o usuário pressiona os botões do *mouse*, obtêm-se um valor imediato de altura, sendo a diferença da coordenada y superior e da coordenada y inferior, como descreve a equação 4.

$$H = y_s - y_i \tag{4}$$

onde: H = altura imediata

$y_s$ = coordenada y superior

$y_i$ = coordenada y inferior

Cada vez que o botão esquerdo do *mouse* é pressionado na posição inferior da peça para a marcação da altura, são marcadas as correspondentes coordenadas de y e a quantidade de vezes que o *mouse* foi pressionado. O mesmo ocorre quando é pressionado o botão direito do *mouse* na parte superior da peça, resultando na altura média. A altura média é a diferença entre a média das coordenadas y marcadas na posição superior e a média das coordenadas y marcadas na posição inferior. A equação 5 mostra esse cálculo.

$$H_M = \left(\sum \frac{y_s}{nd} - \sum \frac{y_i}{ne}\right) \tag{5}$$

onde: $H_M$ = altura média

$y_s$ = coordenada y superior

$y_i$ = coordenada y inferior

*nd* = nº de vezes que o botão direito é pressionado

*ne* = nº de vezes que o botão esquerdo é pressionado

A equação 6 demonstra o indicador de convergência para a estabilidade nas medições referente à altura. A CNAPap é utilizada para fornecer um indicador de que as várias interações do usuário com o aplicativo proporcionaram um convergência para um valor de medida de altura constante, o que corresponde a um valor de altura mais confiável. O indicador foi chamado de $H_{conv}$. Do modo como foi concebido, quanto mais constante for à

altura calculada resultante das interações, mais o valor da $H_{conv}$ será próximo a 1. Portanto, a $H_{conv}$ será considerada como fator indicador de convergência para estabilidade na medida da altura.

$$H_{conv} = \eta_y - H_{cons} \quad (6)$$

onde: $H_{conv}$ = altura convergente

$\eta_y = \frac{1}{2^{\beta y}}$

$H_{cons} = \frac{\{1-(H_{cons(K)}C)Fa\}+1}{2}$ = altura paraconsistente na interação k – 1

$\beta_y = \frac{H-H_M}{H}$

*Fa* = fator de ajuste ou aprendizagem da CNAP

Na figura 16 o Bloco Paraconsistente que simboliza o indicador de convergência para a estabilidade das medições referente à altura.

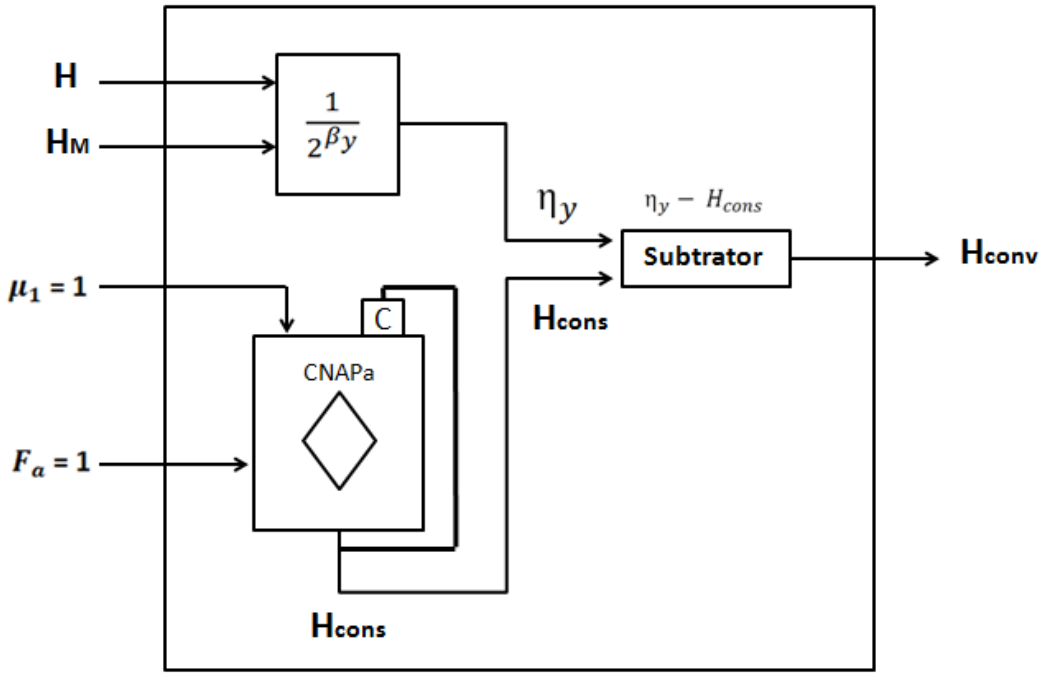



**Figura 16 - Bloco Paraconsistente como indicador de convergência para estabilidade das medições referente à altura.**

O valor do fator de ajuste deve ser selecionado em 1 para que a convergência ocorra em um número menor de interações. Dessa forma, o fator

de ajuste ou aprendizagem é adaptado da equação (1) para que o cálculo da convergência da medida da estabilidade na medida da altura se aproxime de 1.

O cálculo da altura em milímetros é feito através da equação 7, onde o *pixel* é a variável inserida na interação com o usuário e representa a quantidade de *pixels* por milímetros.

$$H_{mm} = \frac{H_p \; x \; H}{qpixels} \tag{7}$$

onde: $H_{mm}$ = altura em milímetros

$H_p$ = altura padrão (inserida nas configurações iniciais)

$H$ = altura imediata

$q_{pixels}$ = quantidade de *pixels*

## 3.4. CÁLCULO PARA OBTENÇÃO DA LARGURA DAS PEÇAS

A obtenção das medidas referente à largura da peça através da ferramenta computacional em estudo ocorre a partir de interações efetuadas com o *mouse*, assim como para a obtenção de altura. No quadro 5, detalha-se o algoritmo para obtenção da largura.

```
Início
    var  w, nd, xiaux, ne, xfaux, wM, wCons, wP, fa, w_mm, wPadrao, qPixels, βx, ηx,
    wConv:real
    xi[], xf[], i, j: inteiro
    w ← 0
    nd ← 0
    xiaux ← 0
    ne ← 0
    xfaux ← 0
    wM ← 0
    wCons ← 0,5
    wP ← 0
    fa ← 1
    w_mm ← 0
    βx ← 0
    ηx ← 0
    wConv ← 0
    wPadrao ← valor inserido pelo usuário em milímetros
    qPixels ← wPadrao //  referenciada na peça e armazenado o valor em pixels
    Enquanto botão esquerdo do mouse for pressionado faça
        xi[i] ← coordenada x
        ne ← i + 1
        xiaux ← xiaux + xi[i]
        i ← i + 1
    fim enquanto
    Enquanto botão direito do mouse for pressionado faça
        xf[i] ← coordenada x
        nd ← j + 1
        xfaux ← xfaux + xf[i]
        j ← j + 1
    fim enquanto
    largura ← xfaux - xiaux
    Se (i >= 1) ^ (j >= 1) então
        wM ← (xfaux/nd) – (xiaux/ne)
        wCons ← ((1 – (wCons*fa))+1) /2
        βx = (w – wM)/w
        ηx = 1/(2^ βx)
        wConv = ηx – wCons
        w_mm ← (wP * w)/qPixels
    fim-se
fim
```

**Quadro 5 - Algoritmo para obtenção da largura.**

Conforme detalhado no quadro 5, ao clicar com o botão esquerdo do *mouse* é marcado o ponto de referência da lateral esquerda da peça. Após a sequência de marcações com o intuito de aprimorar o ponto de largura gera os resultados parciais mostrados na figura 17.

```
x = 91  y = 187
W = 91.0
WM = 91.0
Wconv = 0.5
Wmm = 8.185185185185185

x = 91  y = 212
W = 91.0
WM = 91.0
Wconv = 0.75
Wmm = 8.185185185185185

x = 91  y = 187
W = 91.0
WM = 91.0
Wconv = 0.875
Wmm = 8.185185185185185
```

**Figura 17 - Resultados parciais da marcação da lateral esquerda para medida de largura.**

O mesmo procedimento repete-se para a marcação da posição da lateral esquerda para medida de largura da peça, mas para esta marcação deve ser pressionado o botão direito do *mouse*, obtendo uma medida de aproximadamente 51,00 mm. Na figura 18 são mostrados os resultados finais após várias interações do usuário.

```
x = 657  y = 203
W = 566.0
WM = 453.0
Wconv = 0.9375
Wmm = 50.91005291005291

x = 657  y = 194
W = 566.0
WM = 453.0
Wconv = 0.96875
Wmm = 50.91005291005291

x = 658  y = 188
W = 567.0
WM = 453.0
Wconv = 1.0019028371005353
Wmm = 51.0
```

**Figura 18 - Resultados finais da marcação da posição da lateral direita para medida de largura.**

Para obter os dados descritos nas figuras 17 e 18, inicialmente quando o usuário pressiona os botões do *mouse*, obtêm-se um valor imediato de largura,

sendo a diferença da coordenada x da lateral esquerda e da coordenada x da lateral direita, como descreve a equação 8.

$$W = x_{le} - x_{ld} \tag{8}$$

onde: W = largura imediata

$x_{le}$ = coordenada x da lateral esquerda da peça

$x_{ld}$ = coordenada x da lateral direita da peça

Cada vez que o botão esquerdo do *mouse* é pressionado na lateral esquerda da peça para a marcação da largura, são marcadas as correspondentes coordenadas de x e a quantidade de vezes que o *mouse* foi pressionado. O mesmo ocorre quando é pressionado o botão direito do *mouse* na lateral direita da peça, resultando na largura média. A largura média é a diferença entre a média das coordenadas x marcadas na lateral esquerda e a média das coordenadas x marcadas na lateral direita. A equação 9 mostra esse cálculo.

$$W_M = \left(\frac{\sum x_{ld}}{n_d} - \frac{\sum x_{le}}{n_e}\right) \tag{9}$$

onde: $W_M$ = largura média

$x_{ld}$ = coordenada x da lateral direita da peça

$x_{le}$ = coordenada x da lateral esquerda da peça

$n_d$ = nº de vezes que o botão direito é pressionado

$n_e$ = nº de vezes que o botão esquerdo é pressionado

A equação 10 demonstra o indicador de convergência para a estabilidade nas medições referente à largura. A CNAPap é utilizada para fornecer um indicador de que as várias interações do usuário com o aplicativo proporcionaram um convergência para um valor de medida de largura constante, o que corresponde a um valor de largura mais confiável. O indicador foi chamado de $W_{conv}$. Do modo como foi concebido, quanto mais constante for à largura calculada resultante das interações, mais o valor da $W_{conv}$ será

próximo a 1. Portanto, a $W_{conv}$ será considerada o fator indicador de convergência para estabilidade na medida da largura.

$$W_{conv} = \eta_x - W_{cons} \quad (10)$$

onde: $W_{conv}$ = altura convergente

$\eta_x = \frac{1}{2^{\beta_x}}$

$W_{cons} = \frac{\{1-(W_{cons(K)}C)Fa\}+1}{2}$ = largura paraconsistente na interação k – 1

$\beta_x = \frac{W-W_M}{W}$

*Fa* = fator de ajuste ou aprendizagem da CNAP

Na figura 19 o Bloco Paraconsistente que simboliza o indicador de convergência para a estabilidade das medições referente à largura.

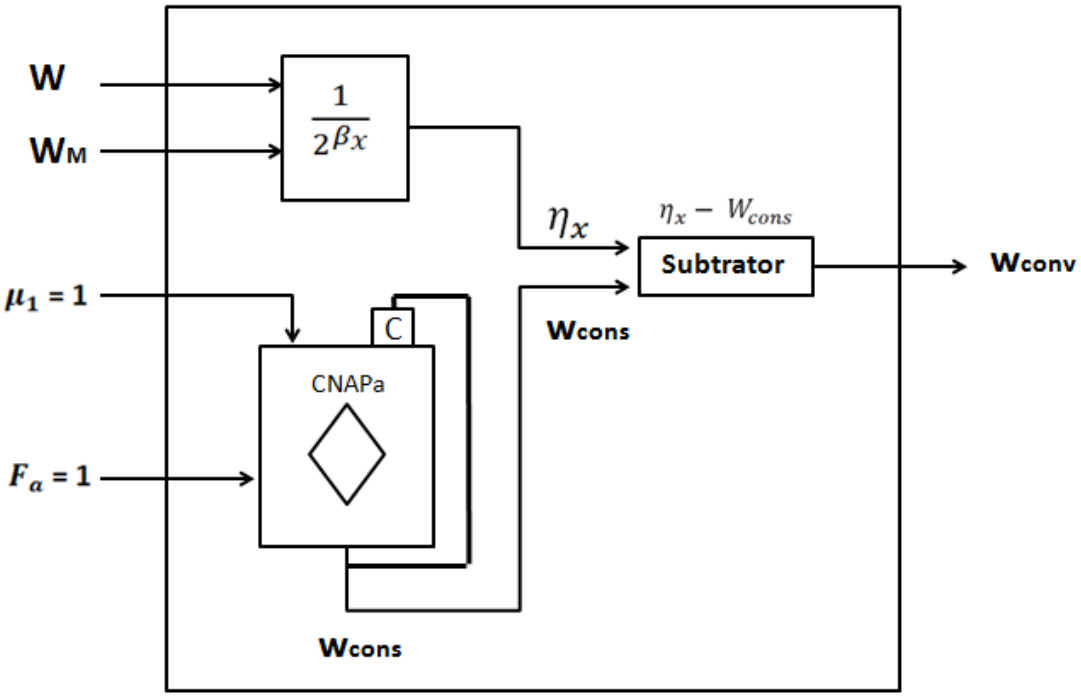



**Figura 19 - Bloco Paraconsistente como indicador de convergência para estabilidade das medições referente à largura.**

O valor do fator de ajuste deve ser selecionado em 1 para que a convergência ocorra em um número menor de interações. Dessa forma, o fator de ajuste ou aprendizagem é adaptado da equação (1) para que o cálculo da

convergência da medida da estabilidade na medida da largura se aproxime de 1.

O cálculo da largura em milímetros é feito através da equação 11, onde o *pixel* é a variável inserida na interação com o usuário e representa a quantidade de *pixels* por milímetros.

$$W_{mm} = \frac{W_p \; x \; W}{qpixels} \tag{11}$$

onde: $W_{mm}$ = largura em milímetros

$W_p$ = largura padrão (inserida nas configurações iniciais)

$W$ = largura imediata

$q_{pixels}$ = quantidade de *pixels*

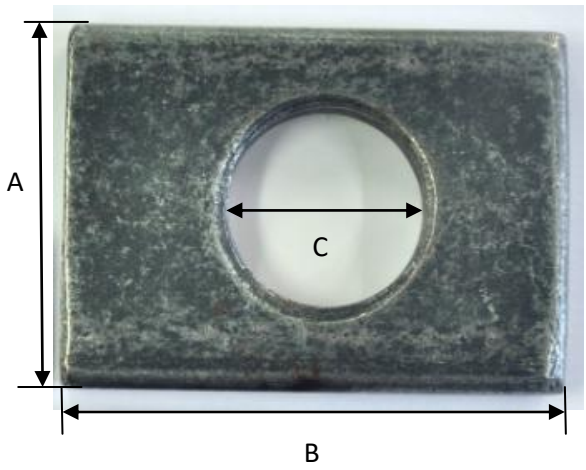
# 4. RESULTADOS

Neste capítulo serão expostos as imagens digitais das peças utilizadas e os resultados parciais obtidos nos ensaios de medição.

Como as peças fornecidas para estudo foram fabricadas sem grandes preocupações com relação à exatidão das mesmas, inicialmente foram extraídas as medidas através de um instrumento convencional de medição. No estudo em questão, foi utilizado um paquímetro com resolução de 0,05 mm.

Na tabela 1 pode-se observar as dimensões e tolerâncias geométricas referentes à primeira peça.

**Tabela 1 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 1.**

| **Peça 1** | **Dimensões e Tolerâncias Geométricas (mm)** | |
|---|---|---|
|  resolução da imagem 4288 x 2848 *pixels* | A<br>B<br>C | 37,16 ± 0,04<br>51,44 ± 0,15<br>20,25 ± 0,04 |

Na tabela 2 expõem-se os resultados das medições obtidas via modelo computacional referente ao ensaio A. Para a obtenção da altura (A) inicialmente foi utilizado o valor de 37,16 mm como padrão nas configurações iniciais do software. Na sequência, para a obtenção da largura (B) foi utilizado como valor padrão à medida de 51,44 mm. Na obtenção do diâmetro (C) foram utilizados dois valores como padrão, primeiramente o valor de 37,16 mm e posteriormente o valor de 51,44 mm.

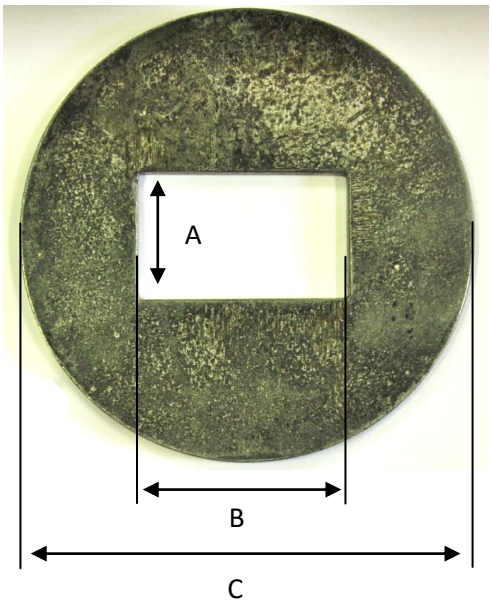
Os valores padrões naturalmente foram referenciados na peça em estudo antes de começar o processo de extração das medidas, conforme demonstrado no capítulo anterior.

**Tabela 2 - Medidas obtidas no ensaio A.**

| | Medida (mm) | Conformidade |
|---|---|---|
| A (ref. 37,16 mm) | 37,16 | Sim |
| B (ref. 51,44 mm) | 51,44 | Sim |
| C (ref. 37,16 mm) | 20,40 | Não |
| C (ref. 51,44 mm) | 19,99 | Não |

Na tabela 3 encontram-se as dimensões e tolerâncias geométricas referentes à segunda peça utilizada no ensaio B.

**Tabela 3 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 2.**

| Peça 2 | Dimensões e Tolerâncias Geométricas (mm) | |
|---|---|---|
|  resolução da imagem 4288 x 2848 *pixels* | A<br>B<br>C | 20,43 ± 0,09<br>33,90 ± 0,06<br>73,81 ± 0,23 |

Na tabela 4 expõem-se os resultados das medições obtidas através do modelo computacional referente ao ensaio B. Para a obtenção da medida da referência (A) foi utilizado o valor de 20,43 mm como padrão nas configurações iniciais do software. Na obtenção da medida da referência (B) foi utilizado como valor padrão o valor de 33,90 mm. Por fim, na referência (C) foram utilizados

dois valores como padrão, primeiramente o valor de 20,43 mm e posteriormente o valor de 33,90 mm.

**Tabela 4 - Medidas obtidas no ensaio B.**

| | Medida (mm) | Conformidade |
|---|---|---|
| A (ref. 20,43 mm) | 20,43 | Sim |
| B (ref. 33,90 mm) | 33,90 | Sim |
| C (ref. 20,43 mm) | 74,51 | Não |
| C (ref. 33,90 mm) | 73,06 | Não |

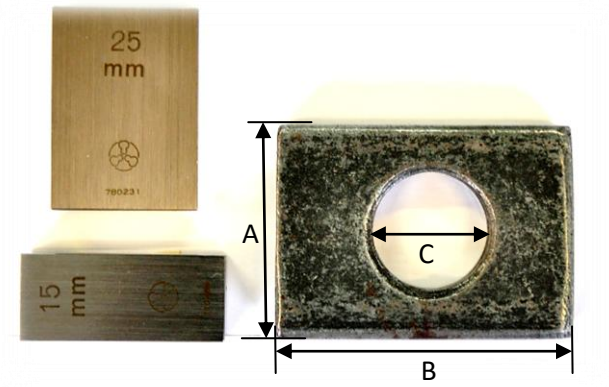
Os demais ensaios realizados encontram-se no Apêndice A, totalizando nove ensaios. Todos estes, foram efetuados com imagens diferentes. Cada imagem encontra-se com os devidos trechos referenciados e nestes pontos foram estimadas as medidas, as quais foram expressas em tabelas.

No Apêndice B são demonstrados os mesmos ensaios de medição que constam no Apêndice A, porém, ao invés de utilizar as próprias dimensões obtidas através do paquímetro como valores padrões para as configurações iniciais do modelo computacional, foram utilizados blocos padrões de 15 mm e de 25 mm que geralmente são utilizados na calibração de instrumentos convencionais.

Nos ensaios subsequentes o bloco padrão de 15 mm foi utilizado como referência de valor de altura padrão e o bloco de 25 mm foi utilizado como referência de valor de largura padrão. Ao invés de referenciar o valor padrão na própria peça a ser medida, este foi referenciado inicialmente no bloco padrão e na sequência foi iniciado o processo de medição em prol de se obter as medidas.

Na tabela 5 serão mostradas as dimensões, tolerâncias geométricas e os blocos padrões utilizados no processo de estimação das medidas da primeira peça.

**Tabela 5 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 1.**

| Peça 1 | Dimensões e Tolerâncias Geométricas (mm) | |
|---|---|---|
|  resolução da imagem 4288 x 2848 *pixels* | A<br>B<br>C | 37,16 ± 0,04<br>51,44 ± 0,15<br>20,25 ± 0,04 |

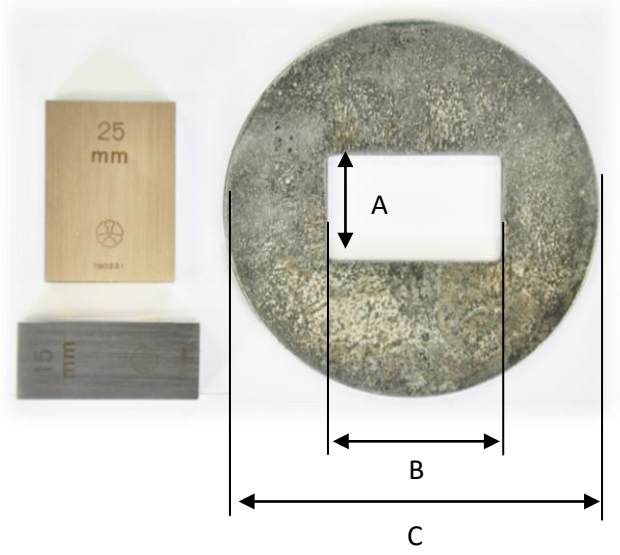
Na tabela 6 são demonstrados os resultados das medições obtidas através do modelo computacional referente ao ensaio J. Para a obtenção da medida da referência (A) foi utilizado o bloco padrão de 15 mm para a configuração de altura padrão. Na obtenção da medida da referência (B) foi utilizado o bloco padrão de 25 mm para a configuração de largura padrão. Por fim, para obter a medida da referência (C) foram utilizados os dois blocos padrões, primeiramente o bloco padrão de 15 mm e posteriormente o valor do bloco padrão de 25 mm.

**Tabela 6 - Medidas obtidas no ensaio J.**

| | Medida (mm) | Conformidade |
|---|---|---|
| A (ref. bloco padrão de 15 mm) | 37,09 | Sim |
| B (ref. bloco padrão de 25 mm) | 51,47 | Sim |
| C (ref. bloco padrão de 15 mm) | 20,26 | Sim |
| C (ref. bloco padrão de 25 mm) | 19,87 | Não |

Na tabela 7 serão mostradas as dimensões, tolerâncias geométricas e os blocos padrões utilizados no processo de estimação das medidas da segunda peça.

**Tabela 7 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 2.**

| Peça 2 | Dimensões e Tolerâncias Geométricas (mm) | |
|---|---|---|
|  resolução da imagem 4288 x 2848 *pixels* | A<br>B<br>C | 20,43 ± 0,09<br>33,90 ± 0,06<br>73,81 ± 0,23 |

Na tabela 8 são demonstrados os resultados das medições obtidas através do modelo computacional referente ao ensaio K. Para a obtenção da medida da referência (A) foi utilizado o bloco padrão de 15 mm para a configuração de altura padrão. Na obtenção da medida da referência (B) foi utilizado o bloco padrão de 25 mm para a configuração de largura padrão. Por fim, para obter a medida da referência (C) foram utilizados os dois blocos padrões, primeiramente o bloco padrão de 15 mm e posteriormente o valor do bloco padrão de 25 mm.

**Tabela 8 - Medidas obtidas no ensaio K.**

| | Medida (mm) | Conformidade |
|---|---|---|
| A (ref. bloco padrão de 15 mm) | 20,30 | Sim |
| B (ref. bloco padrão de 25 mm) | 33,87 | Sim |
| C (ref. bloco padrão de 15 mm) | 74,03 | Sim |
| C (ref. bloco padrão de 25 mm) | 73,07 | Não |

Os demais ensaios realizados onde foram utilizados os blocos padrões encontram-se no Apêndice B.

O fato dos ensaios terem sido executados com peças diversas proporciona uma comparação com relação à conformidade dos resultados obtidos. No caso dos experimentos executados nota-se que ao estimar medidas relacionadas à circunferência de uma peça ou ao diâmetro de um furo contido na mesma os resultados foram insatisfatórios. Mas com relação às medidas estimadas para altura e largura das peças analisadas, na maioria dos testes houve convergência na série de valores obtidos na medição.

Nos ensaios iniciais contidos no Apêndice A foram utilizados valores de medidas conhecidas das peças analisadas como valores padrões nas configurações iniciais do software. Nos ensaios secundários expostos no Apêndice B foram utilizados blocos padrões nas configurações iniciais do modelo computacional, portanto, ao invés de referenciar o valor padrão na própria peça, antes foi referenciado no bloco padrão. Assim, representando os casos onde as dimensões das peças não são conhecidas, porém, se houver um objetivo com dimensões conhecidas ao lado da peça que se deseja analisar, torna-se possível estimar as dimensões da mesma.

De acordo com pesquisas referentes aos sistemas de medições por imagem, é importante ressaltar alguns fatores que influenciam na exatidão das medidas, tais como: a resolução da imagem capturada, a distância da câmera em relação ao objeto, a iluminação do ambiente e a avaliação de incertezas em relação às medidas obtidas.

Com o intuito de sanar tais fatores, além da utilização de técnicas de PDI, agregou-se ao modelo computacional o algoritmo da CNAPap  em prol de auxiliar na estabilidade e na confiabilidade das medições das peças.

## 5. CONCLUSÃO

O trabalho em questão tem como foco a extração de informações através de imagens digitais, onde se delimitou no desenvolvimento de um aplicativo como ferramenta computacional para estimação de medidas de peças mecânicas com o intuito de auxiliar na verificação de conformidade, erros ou falhas ocorridos no processo de produção.

Os erros ocasionados em um processo de produção, geralmente são imperceptíveis ao campo de visão do ser humano, necessitando assim, de ferramentas computacionais para auxiliar na quantificação dos mesmos. Portanto, o aplicativo é uma importante ferramenta voltada a Visão Computacional na qual utiliza algoritmos fundamentados em Lógica Paraconsistente Anotada para a análise de medições oferecendo maior confiabilidade das medidas selecionadas pelo *mouse*.

O modelo criado baseado nessa linha de pesquisa possibilita ao usuário inserir imagens das peças a serem analisadas e obter medidas referentes à altura e largura das mesmas, com valores estabilizados pelas ações das Redes Neurais Artificiais Paraconsistentes. Além da facilidade de implementação, os algoritmos baseados em Lógica Paraconsistente Anotada foram de suma importância no desenvolvimento do aplicativo, pois a Célula Neural Artificial de Aprendizagem atuou como um indicador das várias interações do usuário com o *mouse* em prol de obter as medidas. Quando este indicador de interações aproximava-se do valor 1, significava que havia-se obtido um valor mais confiável da medida referente a altura ou a largura da peça, pois houve convergência na série de valores obtidos na medição.

O modelo computacional apresentado pode ser utilizado como uma ferramenta auxiliar, possibilitando ao usuário um número maior de análises e avaliações referente ao material estudado. Este processo pode auxiliar também, na obtenção de medidas de peças que podem estar localizadas em locais de difícil acesso para se aferir através de instrumentos convencionais.

Além do objetivo ao qual o modelo foi criado, é possível utilizá-lo na medição de objetos diferentes de peças mecânicas, conforme apresentadas. Necessita-se somente que se possua uma imagem digital do objeto a ser a

analisado e se conheça as medidas padrões de altura e largura para serem utilizadas nas configurações iniciais do aplicativo.

Através dos ensaios de medição efetuados pode-se observar que os valores obtidos via modelo computacional demostraram-se convergentes em comparação aos valores aferidos com o instrumento convencional de medição. Portanto, as técnicas abordadas neste trabalho podem contribuir no aprimoramento de sistemas que utilizam imagens digitais para definição de padrões em peças mecânicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ABNT NBR 11309**. Traçador Medidor de Altura**. Junho de 1990.

ARENHART, F. A. **Desempenho Metrológico de Máquinas de Medição por Coordenadas no Âmbito Insdustrial Brasileiro.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2007.

BALLARD, D. H.; BROWN, C. M. **Computer Vision.** Prentice Hall. ISBN 0131653164, 1982.

BAPTISTA, R.; DA SILVA FILHO, J. I.; MORILLA, J. C. **Proposta de Controle de Válvula Automática de três vias através de algoritmos da Lógica Paraconsistente Anotada.** Unisanta Science and Technology, 2013, 6, December (69-73) p. p. ISSN 2317-1416, Published Online 2013 Vol.2 N°2.

BOSCH, J. A. **Coordinate Measuring Machines and Systems.** New York: Marcel Dekker, Inc., 1995.

CAMPIONE, M; WALRATH, K. **The Java Tutorial: Objetct-Oriented Programming for the Internet.** [S.I.]: SunSoft Press, 1996.

COSTA, P. B.; LETA, F. R. **A Medição por Imagem em Precisão Subpixel.** Universidade Federal Fluminense. Niterói – RJ.

DA SILVA FILHO, J. I.; OLIVEIRA, D. B.; AGUIAR, L. L.; FERRARA, L. F. P.; GARCIA, D. V.; MARIO, M. C. **Algoritmos fundamentados em Lógica Paraconsistente Anotada aplicados em Análises de Variáveis Físicas de um Processo Industrial.** Revista Seleção Documental – GLPA, N° 27. Ed. Paralogike Santos – SP, ISSN 1809-0648 - p.19, Julho/Agosto/Setembro 2012.

DA SILVA FILHO, J. I. **As Redes Neurais Artificiais Paraconsistentes como estruturas computacionais para tratamento de incertezas.** Cap. 2 (15-26) Livro: Aspectos de Computação Inteligente Paraconsistente. Editora: Instituto de Estudos Avançados da USP – ISBN 978-85-63007-05-6.

DA SILVA FILHO, J. I. **Introdução às Células Neurais Artificiais Paraconsistentes.** Revista Seleção Documental – GLPA, N° 8 Ed. Paralogike Santos – SP, ISSN 1809-0648 – 2007.

DA SILVA FILHO, J. I. **Métodos de aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores – LPA2v.** Revista Seleção Documental – GLPA, N° 1 Ed. Paralogike Santos – SP, ISSN 1809-0648 – 2006.

DE MILANO, D.; HONORATO, L. B. **Visão Computacional.** Disponível em: http://www.ft.unicamp.br/liag/wp/monografias/monografias/2010_IA_FT_UNICAMP_visaoComputacional.pdf. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, Limeira/SP. Acesso em: 29 dez. 2014.

DE SANTO, M.; LIGUORI, C.; PAOTILLO, A.; PIETROSANTO, A. **Standard uncertainty evaluation in image-based measurements**. Measurement, Vol. 36, p. 347 – 358, 2004.

DEITEL, P.; DEITEL, H. **"Java como programar".** Págs. 6, 7, 449 a 454. São Paulo – Editora Pearson Prentice Hall – 8ª edição, 2010.

DONATELLI, G. D. **Curso Avançado de Metrologia para Gestores Industriais – A Metrologia na Cadeia de Valor da Empresa**. Seminário, Fundação CERTI, março de 2006.

EAL. G17. **Coordinate Measuring Machine Calibration . Publication Reference.** European Cooperation for Accreditation of Laboratories. Edition 1, 1995.

FARO. **Braços Articulados de Medição**. Disponível em: <http://www.faro.com>. Acesso em: fev. 2015

FELICIANO, F. F.; SOUZA, I. L.; LETA, F. R. **Visão Computacional Aplicada à Metrologia Dimensional Automatizada: Considerações sobre sua Exatidão.** ENGEVISTA, v. 7, n. 2, p. 38-50, Dezembro 2005.

FRYER, J. G. **Close Range Photogrammetry and Machine Vision – Introduction**, Edited by K. B. Atkinson, Whittles Publishing, 1996.

GOMEZ, J. **Raster (Bitmap) vs Vector.** Saratosa FL, USA, 2014. Disponível em: http://vector-conversions.com/vectorizing/raster_vs_vector.html. Acesso: 02/02/2015.

HORSTMANN, C. S.; CORNELL, G. **"Core Java 2 – volume II – Recursos Avançados".** Págs. 466 a 473. São Paulo, Editora Pearson Education do Brasil – 2003

INMETRO. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia.** 2. ed. Brasília, SENAI/DN, 2000. 75p. Convênio SENAI/DN/INMETRO. ISBN 85-87090-90-9.

INMETRO, **Vocabulário Internacional de Termos - VIM . Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia.** DIMCI, 52P. Duque de Caxias, 1995.

IPMA. **Satélites Meteorológicos.** Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Figura disponível em: https://www.ipma.pt/pt/educativa/observar.tempo/index.jsp?page=satelite03.xml&print=true. Acesso: 20 dez 2014.

KIRSH. R. A.; CAHN, L.; RAY, C.; URBAN, G. H. **Experiments in Processing Pictorial Information with a Digital Computer.** Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference. Washignton – USA, December 1957.

LETA, F. R. **Metrologia por imagens**. Laboratório de Metrologia Dimensional & Computacional – Universidade Federal Fluminense. Disponível em: http://www.redetec.org.br/riometrologia/palestras/2005/FabianaRLeta.pdf. Acesso em 19 nov. 2012.

LETA, F. R.; MENDES, V. B.; MELLO, J. C. S. **Medição de Identações de Dureza com Algoritmos de Visão Computacional e Técnicas de Decisão com Incertezas.** ENGEVISTA, v. 6, n. 2, 2004.

LIMA, C. R. G. **Um Estudo Comparativo de Sistemas de Medição Aplicáveis ao Controle Dimensional de Superfícies Livres em Peças de Médio e Grande Porte.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

MARIO, M. C. **Redes Neurais Artificiais Paraconsistentes aplicadas na extração de dimensões físicas de objetos em imagens fotográficas digitais.** Revista Seleção Documental, Nº 28 - Ano 7 ISSN 1809-0648, pág. 3-9. Outubro/Nov/Dezembro, Ed. Paralogike – Santos – SP – Brasil, 2012.

MARIO, M. C.; FERRARA, L. F. P.; DA SILVA FILHO, J. I. **Treinamento de uma Célula Neural Artificial Paraconsistente de Aprendizagem.** Revista Seleção Documental, Nº 6 – Ano 2 ISSN 1809-0648, pág. 11-16. Abril/Maio/Junho, Ed. Paralogike – Santos – SP – Brasil, 2007.

MCREYNOLDS, T.; BLYTHE, D. **Advanced graphics programming using OpenGL**. Amsterdam: Morgan Kaufmann Publishers, 2005.

MINSKY, M. **A Framework for Representing Knowledge.** MIT-AI Laboratory Memo 306, 1974.

MITUTOYO. **Catálogo de Blocos Padrão.** Disponível em: <http://www.mitutoyo.com.br/produtos/instrumentos/pdf-/cal1.pdf> Acesso em: fev. 2015.

MITUTOYO. **CD de Treinamento Interativo sobre Instrumentos para Metrologia Dimensional.** Disponível em: <http://www.mitutoyo.com>. Acesso: fev. 2015 e. Mitutoyo e Instituto Tecnológico – ITUC da PUC-RJ.

MOCROSKY, J. F.; BORGES, J. B. **Módulo I: Metrologia – Mecânica.** CEFET/SC. Chapecó – SC. Fev. 2007.

NBR ISO/IEC 17025, **Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração.** Rio de Janeiro: ABNT, 20p. 2001.

NEROSKY, L. A. R. **Medição de Formas Livres através da Integração de um Sensor Óptico tipo "Folha de Luz" em um Braço de Medição**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

NETO, A. A. B. **A Tecnologia da Medição por Coordenadas na Calibração de Peças Padrão e Medição de Peças com Geometrias Complexas.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

PACIORNIK, S. **Processamento digital de imagens.** Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: http://www.dcmm.puc-rio.br/cursos/ipdi. Acesso em: 20 dez 2014.

PALMA, F. **Máquinas e Ferramentas** – Senai – SC. Disponível em: http://dc387.4shared.com/doc/6i6Wfj6q/preview.html. Acesso em: 23/09/2013.

PAULI, E. A.; ULIANA, F. S. **Metrologia Básica – Mecânica.** SENAI – ES, 1996.

PEDRINI, H.; SCHWARTZ, W.R. **Análise de imagens digitais: princípios, algoritmos e aplicações.** Prefácio, São Paulo – Editora Thomson Learning – 2008.

RENISHAW, **RAMTIC - Renishaw's Automated Milling, Turning and Inspection Center.** Diponível em: http://www.renishaw.com. Acesso em: fev. 2015.

REHEM, A.; TRINDADE, F. H. V. **Técnicas de Visão Computacional para Rastreamento de Olhar em Vídeos.** Publicado em 03/02/2009. Disponível em: http://almerindo.devin.com.br/index.php?option=com_content&view=article=78%3Atecnicas-de-computacao-visual-pararastreamento-de-olharemvideos&catid=43%3Atrabalhos-dealunos&Itemid=86&showall=1. Acessado em 01/12/2014.

SCHNEIDER, C.A., **Modos de a empresa garantir a rastreabilidade metrológica de seus produtos/serviços aos padrões nacionais.** Seminário Internacional de Metrologia para Controle da Qualidade, sessão 3, módulo A, artigo 1. Florianópolis, 1995.

SCHWENKE, H.; TRAPET, E.; WÄLDELE, F., **Pushing the Limits of Accuracy of Coordinate Measurements.** Proceeding of the 9th International Precision Engineering Seminar, 4th International Conference on Ultraprecision in Manufacturing Engineering, Braunscweig, Germany, vol. 1, p. 331-335, 26-30 maio. 1997.

SOUSA, A. R.; OROSCO, D. B.; GIAMMUSSO, L. **Avaliação da Incerteza Volumétrica de Braços de Medição Por Coordenadas**. Congresso METROLOGIA-2003 – Metrologia para a Vida, Sociedade Brasileira de Metrologia (SBM), Recife, 2003.

WINCHELL, W., **Inspection and Measurement in Manufacturing . keys to process planning and improvement,** Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Michigan,1996, 198 p.

WINSTON, P. H. **The Psychology of Computer Vision.** McGraw Hill, 1975.

## APÊNDICE A – Ensaios de medição sem blocos padrões

**Tabela 9 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 3.**

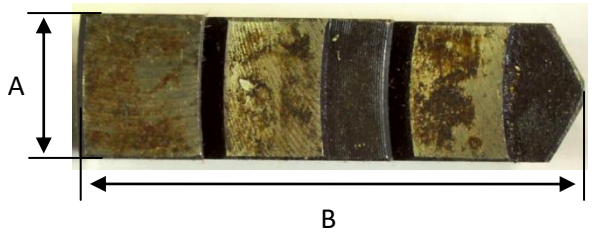
| Peça 3 | Dimensões e Tolerâncias Geométricas (mm) | |
|---|---|---|
|  resolução da imagem 4288 x 2848 *pixels* | A<br>B | 15,06 ± 0,08<br>54,76 ± 0,08 |

**Tabela 10 - Medidas obtidas no ensaio C.**

| | Medida (mm) | Conformidade |
|---|---|---|
| A (ref. 15,06 mm) | 15,06 | Sim |
| B (ref. 54,76 mm) | 54,76 | Sim |

**Tabela 11 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 4.**

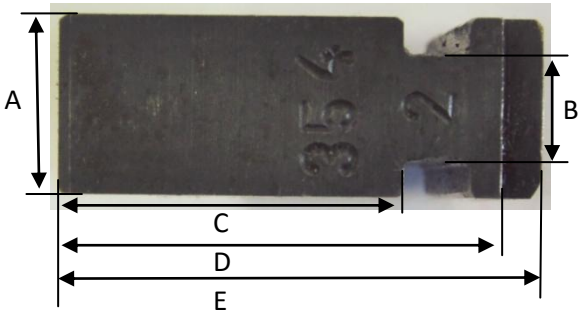
| Peça 4 | Dimensões e Tolerâncias Geométricas (mm) | |
|---|---|---|
|  resolução da imagem 4288 x 2848 *pixels* | A<br>B<br>C<br>D<br>E | 15,05 ± 0,04<br>8,76 ± 0,09<br>29,00 ± 0,10<br>37,15 ± 0,08<br>40,71 ± 0,04 |

**Tabela 12 - Medidas obtidas no ensaio D.**

| | Medida (mm) | Conformidade |
|---|---|---|
| A (ref. 15,05 mm) | 15,05 | Sim |
| B (ref. 15,05 mm) | 8,76 | Sim |
| C (ref. 29,00 mm) | 29,00 | Sim |
| D (ref. 29,00 mm) | 37,32 | Não |
| E (ref. 29,00 mm) | 40,75 | Sim |

**Tabela 13 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 5.**

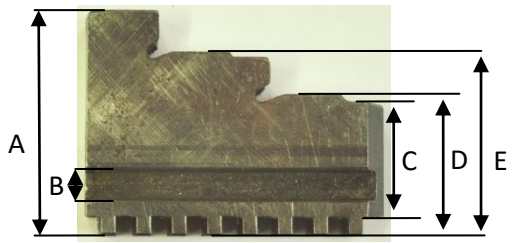
| Peça 5 | Dimensões e Tolerâncias Geométricas (mm) | |
|---|---|---|
|  resolução da imagem 4288 x 2848 *pixels* | A<br>B<br>C<br>D<br>E | 40,70 ± 0,00<br>5,57 ± 0,04<br>20,78 ± 0,04<br>25,58 ± 0,04<br>33,24 ± 0,10 |

**Tabela 14 - Medidas obtidas no ensaio E.**

| | Medida (mm) | Conformidade |
|---|---|---|
| A (ref. 40,70 mm) | 40,70 | Sim |
| B (ref. 40,70 mm) | 5,48 | Não |
| C (ref. 40.70 mm) | 20,78 | Sim |
| D (ref. 40,70 mm) | 25,40 | Não |
| E (ref.40,70 mm) | 33,20 | Sim |

**Tabela 15 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 6.**

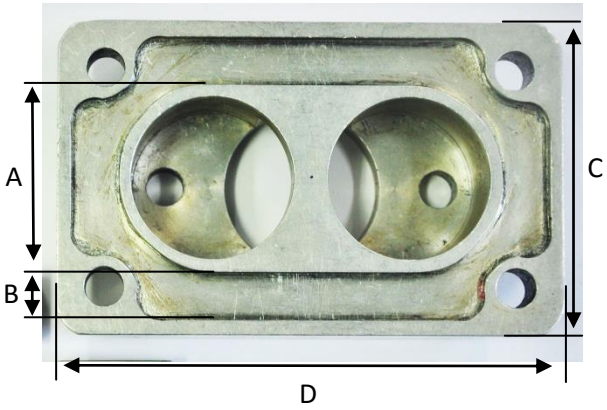
| Peça 6 | Dimensões e Tolerâncias Geométricas (mm) | |
|---|---|---|
|  resolução da imagem 4288 x 2848 *pixels* | A<br>B<br>C<br>D | 39,54 ± 0,02<br>9,97 ± 0,03<br>66,08 ± 0,03<br>106,15 ± 0,12 |

**Tabela 16 - Medidas obtidas no ensaio F.**

| | Medida (mm) | Conformidade |
|---|---|---|
| A (ref. 39,54 mm) | 39,54 | Sim |
| B (ref. 39,54 mm) | 9,97 | Sim |
| C (ref. 39,54 mm) | 66,12 | Não |
| D (ref. 106,15 mm) | 106,15 | Sim |

**Tabela 17 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 7.**

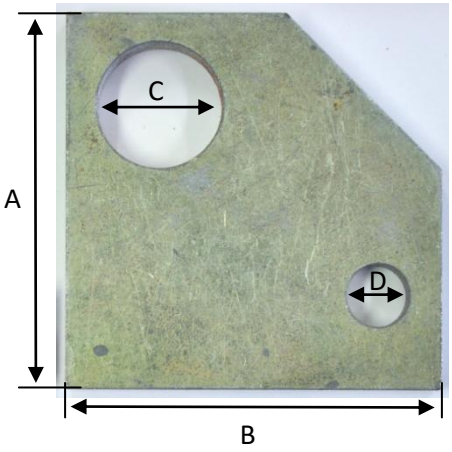
| Peça 7 | Dimensões e Tolerâncias Geométricas (mm) | |
|---|---|---|
|  resolução da imagem 4288 x 2848 *pixels* | A<br>B<br>C<br>D | 60,10 ± 0,00<br>60,13 ± 0,04<br>20,04 ± 0,04<br>10,10 ± 0,00 |

**Tabela 18 - Medidas obtidas no ensaio G.**

| | Medida (mm) | Conformidade |
|---|---|---|
| A (ref. 60,10 mm) | 60,10 | Sim |
| B (ref. 60,13 mm) | 60,13 | Sim |
| C (ref. 60,10 mm) | 20,14 | Não |
| C (ref. 60,13 mm) | 20,04 | Sim |
| D (ref. 60,10 mm) | 10,23 | Não |
| D (ref. 60,13 mm) | 10,17 | Não |

**Tabela 19 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 8.**

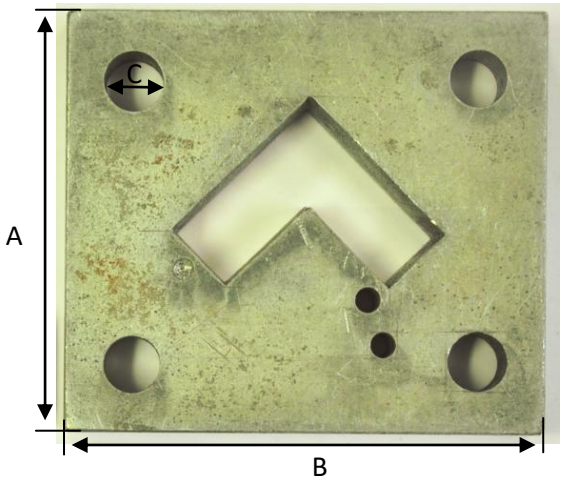
| Peça 8 | Dimensões e Tolerâncias Geométricas (mm) | |
|---|---|---|
|  resolução da imagem 4288 x 2848 *pixels* | A<br>B<br>C | 59,91 ± 0,02<br>68,07 ± 0,03<br>8,29 ± 0,20 |

**Tabela 20 - Medidas obtidas no ensaio H.**

| | Medida (mm) | Conformidade |
|---|---|---|
| A (ref. 59,91 mm) | 59,91 | Sim |
| B (ref. 68,07 mm) | 68,07 | Sim |
| C (ref. 59,91 mm) | 8,10 | Sim |
| C ref. 68,07 mm) | 8,30 | Sim |

**Tabela 21 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 9.**

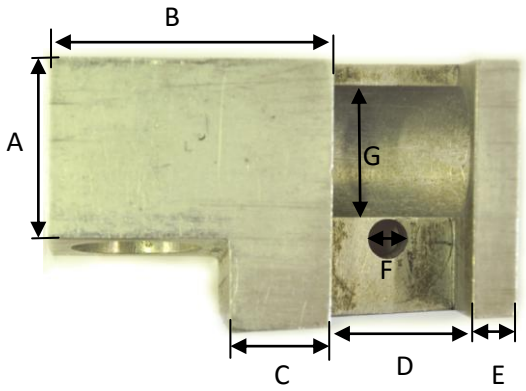
| Peça 9 | Dimensões e Tolerâncias Geométricas (mm) | |
|---|---|---|
|  resolução da imagem 4288 x 2848 *pixels* | A | 39,62 ± 0,08 |
| | B | 62,42 ± 0,07 |
| | C | 22,51 ± 0,20 |
| | D | 30,88 ± 0,09 |
| | E | 09,78 ± 0,08 |
| | F | 09,16 ± 0,02 |
| | G | 29,90 ± 0,06 |

**Tabela 22 - Medidas obtidas no ensaio I.**

| | Medida (mm) | Conformidade |
|---|---|---|
| A (ref. 39,62 mm) | 39,62 | Sim |
| B (ref. 62,42 mm) | 62,42 | Sim |
| C (ref. 62,42 mm) | 22,42 | Sim |
| D (ref. 62,42 mm) | 30,91 | Sim |
| E (ref. 62,42 mm) | 9,70 | Sim |
| F (ref. 39,62 mm) | 9,14 | Sim |
| F (ref. 62,42 mm) | 8,79 | Não |
| G (ref. 39,62 mm) | 28,78 | Não |

## APÊNDICE B – Ensaios de medição com blocos padrões

**Tabela 23 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 3.**

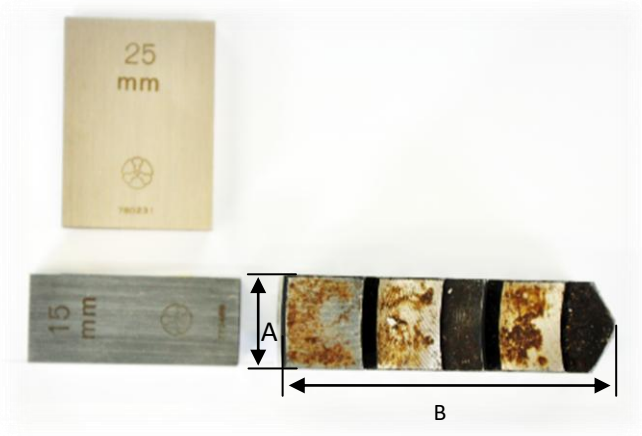
| Peça 3 | Dimensões e Tolerâncias Geométricas (mm) | |
|---|---|---|
|  resolução da imagem 4288 x 2848 *pixels* | A<br>B | 15,06 ± 0,08<br>54,76 ± 0,08 |

**Tabela 24 - Medidas obtidas no ensaio L.**

| | Medida (mm) | Conformidade |
|---|---|---|
| A (ref. bloco padrão de 15 mm) | 15,20 | Não |
| B (ref. bloco padrão de 25 mm) | 54,77 | Sim |

**Tabela 25 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 4.**

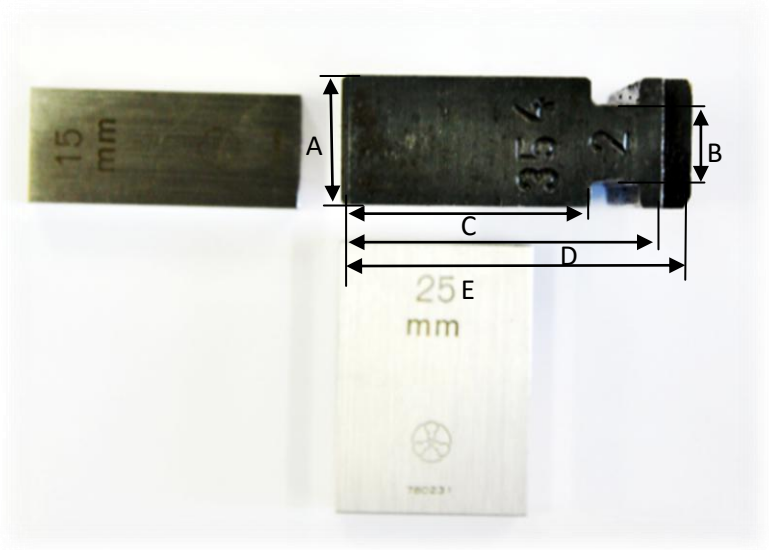
| Peça 4 | Dimensões e Tolerâncias Geométricas (mm) | |
|---|---|---|
|  resolução da imagem 4288 x 2848 *pixels* | A<br>B<br>C<br>D<br>E | 15,05 ± 0,04<br>8,76 ± 0,09<br>29,00 ± 0,10<br>37,15 ± 0,08<br>40,71 ± 0,04 |

**Tabela 26 - Medidas obtidas no ensaio M.**

| | Medida (mm) | Conformidade |
|---|---|---|
| A (ref. bloco padrão de 15 mm) | 16,50 | Não |
| B (ref. bloco padrão de 15 mm) | 9,30 | Não |
| C (ref. bloco padrão de 25 mm) | 30,00 | Não |
| D (ref. bloco padrão de 25 mm) | 39,10 | Não |
| E (ref. bloco padrão de 25 mm) | 43,09 | Não |

**Tabela 27 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 5.**

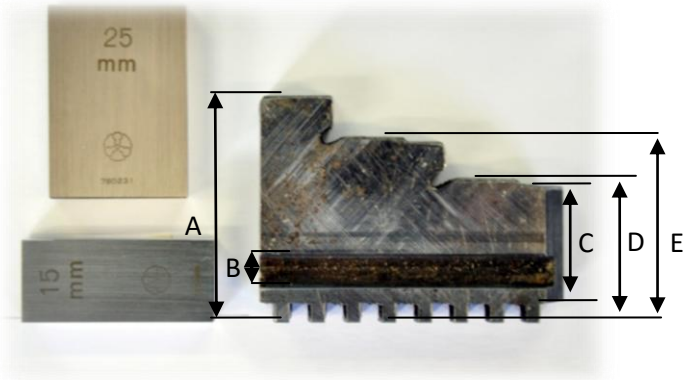
| Peça 5 | Dimensões e Tolerâncias Geométricas (mm) | |
|---|---|---|
|  resolução da imagem 4288 x 2848 *pixels* | A<br>B<br>C<br>D<br>E | 40,70 ± 0,00<br>5,57 ± 0,04<br>20,78 ± 0,04<br>25,58 ± 0,04<br>33,24 ± 0,10 |

**Tabela 28 - Medidas obtidas no ensaio N.**

| | Medida (mm) | Conformidade |
|---|---|---|
| A (ref. bloco padrão de 15 mm) | 40,72 | Não |
| B (ref. bloco padrão de 15 mm) | 5,54 | Sim |
| C (ref. bloco padrão de 15 mm) | 20,74 | Sim |
| D (ref. bloco padrão de 15 mm) | 25,78 | Não |
| E (ref. bloco padrão de 15 mm) | 33,25 | Sim |

**Tabela 29 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 6.**

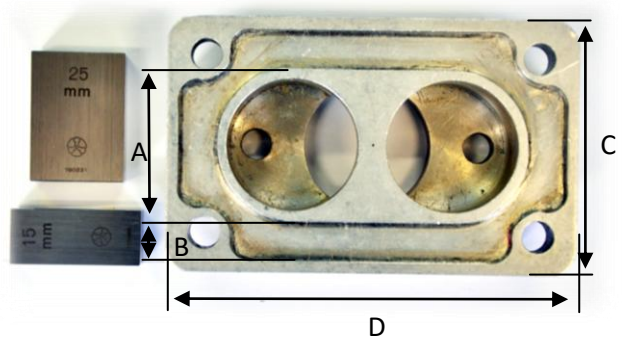
| Peça 6 | Dimensões e Tolerâncias Geométricas (mm) | |
|---|---|---|
| z  resolução da imagem 4288 x 2848 *pixels* | A<br>B<br>C<br>D | 39,54 ± 0,02<br>9,97 ± 0,03<br>66,08 ± 0,03<br>106,15 ± 0,12 |

**Tabela 30 - Medidas obtidas no ensaio O.**

| | Medida (mm) | Conformidade |
|---|---|---|
| A (ref. bloco padrão de 15 mm) | 39,67 | Não |
| B (ref. bloco padrão de 15 mm) | 10,00 | Sim |
| C (ref. bloco padrão de 15 mm) | 66,00 | Não |
| D (ref. bloco padrão de 25 mm) | 106,27 | Sim |

**Tabela 31 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 7.**

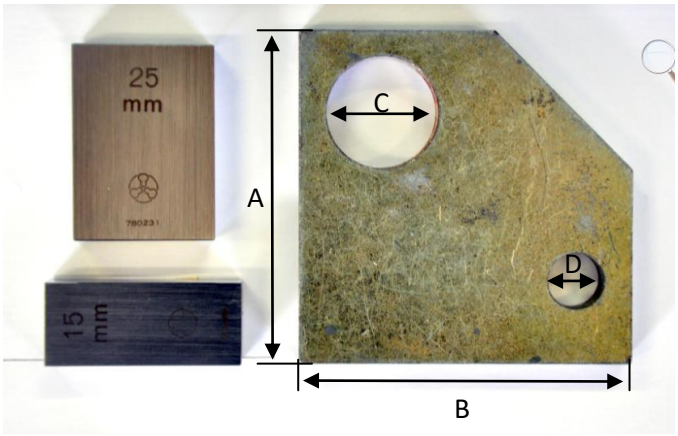
| Peça 7 | Dimensões e Tolerâncias Geométricas (mm) | |
|---|---|---|
|  resolução da imagem 4288 x 2848 *pixels* | A<br>B<br>C<br>D | 60,10 ± 0,00<br>60,13 ± 0,04<br>20,04 ± 0,04<br>10,10 ± 0,00 |

**Tabela 32 - Medidas obtidas no ensaio P.**

| | Medida (mm) | Conformidade |
|---|---|---|
| A (ref. bloco padrão de 15 mm) | 60,05 | Não |
| B (ref. bloco padrão de 25 mm) | 60,17 | Sim |
| C (ref. bloco padrão de 15 mm) | 20,17 | Não |
| C (ref. bloco padrão de 25 mm) | 20,13 | Não |
| D (ref. bloco padrão de 15 mm) | 10,10 | Sim |
| D (ref. bloco padrão de 25 mm) | 10,17 | Não |

**Tabela 33 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 8.**

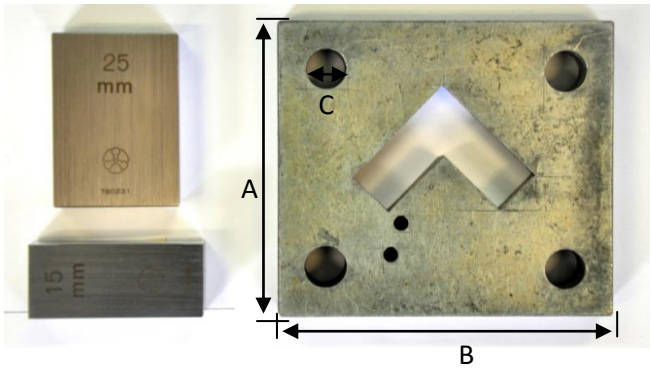
| Peça 8 | Dimensões e Tolerâncias Geométricas (mm) | |
|---|---|---|
|  resolução da imagem 4288 x 2848 *pixels* | A<br>B<br>C | 59,91 ± 0,02<br>68,07 ± 0,03<br>8,29 ± 0,20 |

**Tabela 34 - Medidas obtidas no ensaio Q.**

| | Medida (mm) | Conformidade |
|---|---|---|
| A (ref. bloco padrão de 15 mm) | 60,00 | Não |
| B (ref. bloco padrão de 25 mm) | 68,05 | Sim |
| C (ref. bloco padrão de 15 mm) | 8,27 | Sim |
| C (ref. bloco padrão de 25 mm) | 8,28 | Sim |

**Tabela 35 - Dimensões e tolerâncias geométricas da peça 9.**

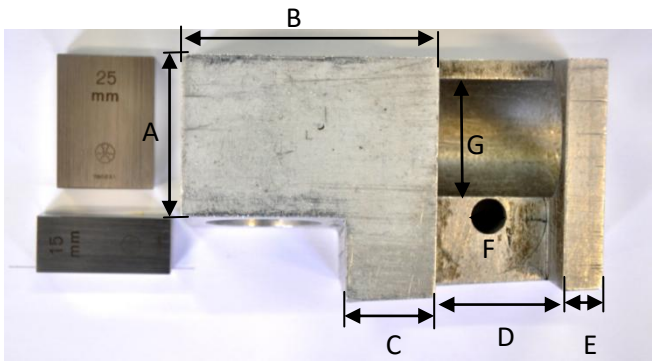
| Peça 9 | Dimensões e Tolerâncias Geométricas (mm) | |
|---|---|---|
|  resolução da imagem 4288 x 2848 *pixels* | A<br>B<br>C<br>D<br>E<br>F<br>G | 39,62 ± 0,08<br>62,42 ± 0,07<br>22,51 ± 0,20<br>30,88 ± 0,09<br>09,78 ± 0,08<br>09,16 ± 0,02<br>29,90 ± 0,06 |

**Tabela 36 - Medidas obtidas no ensaio R.**

| | Medida (mm) | Conformidade |
|---|---|---|
| A (ref. bloco padrão de 15 mm) | 39,66 | Sim |
| B (ref. bloco padrão de 25 mm) | 62,35 | Sim |
| C (ref. bloco padrão de 25 mm) | 22,44 | Sim |
| D (ref. bloco padrão de 25 mm) | 30,79 | Sim |
| E (ref. bloco padrão de 25 mm) | 9,79 | Sim |
| F (ref. bloco padrão de 15 mm) | 9,05 | Não |
| F (ref. bloco padrão de 25 mm) | 9,07 | Não |
| G (ref. bloco padrão de 15 mm) | 29,84 | Sim |