



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA MECATRÔNICA

Cleverson Oliveira Almeida

SISTEMA MECATRÔNICO DE INSPEÇÃO DE PEÇAS UTILIZANDO TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Manaus
2015

Cleverson Oliveira Almeida

SISTEMA MECATRÔNICO DE INSPEÇÃO DE PEÇAS UTILIZANDO TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Modelo de Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do curso de Engenharia Mecatrônica da Universidade do Estado do Amazonas como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Mecatrônico.

Orientador Charles Luiz S. de Melo, Msc.
Coorientador: André Dias de L. Machado, Eng.

Manaus
2015

Cleverson Oliveira Almeida

**SISTEMA MECATRÔNICO DE INSPEÇÃO DE
PEÇAS UTILIZANDO TÉCNICAS DE
PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS**

Modelo de Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do curso de Engenharia Mecatrônica da Universidade do Estado do Amazonas como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Mecatrônico.

Aprovado em de de 2015.

BANCA EXAMINADORA

Charles Luiz S. de Melo, Msc.
Orientador

Israel Mazaira Morales
Convidado 1

Marivan Gomes
Convidado 2

Manaus
2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Pai Cleves Leite de Almeida por toda a força, motivação e ensinamentos, os quais me levaram ao ápice da determinação.

Agradeço a minha Mãe Maria de Lourdes Oliveira de Almeida por todo amparo, amor e educação, sendo tudo aquilo que precisei em todos os momentos.

Agradeço ao Prof. Msc. Charles Luiz S. de Melo pelos ensinamentos e toda dedicação, orientando-me incansavelmente.

Agradeço ao Prof. Dr. Walter Valenzuela pelas aulas sobre como escrever textos e apresentações acadêmicas.

Agradeço ao Eng. André Dias de L. Machado, por toda a luta e paciência, estando comigo nos momentos mais difíceis, do início ao fim.

Agradeço à minha namorada, por todo amor e carinho incondicionais, suportando com muita paciência os meus momentos mais difíceis.

Agradeço aos meus irmãos pelos conselhos e cobranças para que terminasse o mais rápido possível a graduação.

Agradeço a todos os professores da Escola Superior de Tecnologia UEA/EST pelos conhecimentos compartilhados, experiências divididas e valorosas orientações para a vida profissional e pessoal.

Agradeço a todos os funcionários da Escola Superior de Tecnologia UEA/EST que, de uma forma ou de outra, zelam pela instituição proporcionando um melhor ambiente de aprendizado para os alunos.

RESUMO

Grande parte dos sistemas automáticos de inspeção visual industrial, possuem uma variedade mínima de objetos a serem inspecionados automaticamente. Determinado fato torna-se verídico por grande parte das técnicas de reconhecimento não serem flexíveis o bastante para suportar grandes mudanças no modelo de objetos a reconhecer e dimensionar. Com ênfase em diminuir esse nível de restrição, o sistema de visão engloba técnicas de processamento digital de imagem, um *software* desenvolvido capaz de fazer reconhecimento e dimensionamento e um protótipo de *hardware* que seja compatível com as necessidades de funcionamento do *software*. Os resultados da aplicação destas técnicas de representação foram verificadas em diversos experimentos, tanto com imagens simuladas quanto com imagens capturadas em tempo real. O Objetivo deste trabalho de conclusão de curso é descrever e esmiuçar o processo de implementação de um sistema de visão automatizada, capaz de selecionar a melhor estratégia para reconhecer, dimensionar e localizar objetos planares, tendo ênfase nas aplicações para indústrias. Tem-se trabalhado para modernizar e ampliar a flexibilidade do sistema com grandes ganhos de performance em um ambiente industrial.

Palavras-chave: Sistemas automáticos de inspeção visual. Sistema de visão. Dimensionamento de peças industriais. Técnicas de processamento digital de imagem.

ABSTRACT

Much of the automated systems of industrial visual inspection, have a minimum range of objects to be inspected automatically. Given fact becomes true for much of the recognition techniques are not flexible enough to support major changes in the object model to recognize and scale. With emphasis on decrease this restriction level, the vision system includes digital image processing techniques, developed a software capable of recognition and measurement and a hardware prototype that is compatible with the operating requirements of the software. The results of application of these representation techniques were observed in several experiments, both with simulated images as captured images in real time. The objective of this course conclusion work is to describe and scrutinize the implementation process of an automated vision system, able to select the best strategy to recognize, measure and locate planar objects, with emphasis on applications for industries. It has worked to modernize and expand the flexibility of the system with great performance gains in an industrial environment.

Key words: Automated systems for visual inspection. Vision System. Design of Industrial Parts. Digital Image Processing Techniques.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Organograma de processamento digital.	12
Figura 2 – Imagem processada digitalmente	14
Figura 3 – Processo de filtragem	15
Figura 4 – Aquisição de imagem	19
Figura 5 – Tabuleiro de xadrez e matriz de pontos	19
Figura 6 – Resultado da calibração	20
Figura 7 – Imagem binarizada	21
Figura 8 – Exemplo de Imagem Padrão	27
Figura 9 – Step de Binarização	28
Figura 10 – Imagem Binarizada	29
Figura 11 – Aplicação Filtro Médio	30
Figura 12 – Filtro Médio Local	30
Figura 13 – Aplicação do filtro gaussiano	31
Figura 14 – Aplicação do filtro highlight	32
Figura 15 – Step de Reconhecimento	33
Figura 16 – Reconhecimento de materiais	33
Figura 17 – Step de Calibração	34
Figura 18 – Imagem sendo Calibrada	35
Figura 19 – Step de Medição	35
Figura 20 – Medição de peças	36
Figura 21 – Cálculo das lentes ideais	36
Figura 22 – Protótipo de Hardware	37
Figura 23 – Programação Ladder	38
Figura 24 – Esquema CPU	39
Figura 25 – Esquema Iluminação	39
Figura 26 – Esquema Motor Trifásico	40
Figura 27 – Esquema Porta de Abertura/Fechamento	41
Figura 28 – Esquema Circuito de Segurança	41
Figura 29 – Desenho Sinaleiro de Segurança	42
Figura 30 – APROVADA	44
Figura 31 – REPROVADA	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Apresentação	9
1.2	Objetivo	10
1.2.1	Objetivo Geral	10
1.2.2	Objetivos Específicos	10
1.3	Motivação	10
1.4	Justificativa	10
1.5	Organização do Trabalho	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Processamento Digital de Imagem	12
2.2	Filtragem	14
2.2.1	Filtro Passa Baixa	15
2.2.2	Filtro Passa Alta	16
2.2.3	Filtro Mediana	16
2.3	Visão Computacional	17
2.4	Calibração	18
2.5	Segmentação	20
2.5.1	Segmentação orientada a regiões	21
2.5.2	Segmentação baseada em bordas	21
2.5.3	Limiarização (Thresholding)	22
2.6	Reconhecimento	22
2.7	Trabalhos Relacionados	23
3	<i>SOFTWARE</i>	27
3.1	Aquisição da imagem padrão para treinamento do <i>Software</i>	27
3.2	Binarização da imagem	28
3.3	Filtragem das imagens	29
3.3.1	Filtro médio	30
3.3.2	Filtro gaussiano	31
3.3.3	Filtro highlight	31
3.4	Reconhecimento de padrões	32
3.5	Calibração de imagens	34
3.6	Medição de peças	35
4	<i>HARDWARE</i>	37

4.1	Desenhos mecânicos	37
4.2	Esquemas Elétricos	38
4.2.1	Controlador Lógico-Programável (CLP)	38
4.2.2	CPU	38
4.2.3	Iluminação	39
4.2.4	Motor Trifásico	40
4.2.5	Porta de entrada e saída de peças	40
4.2.6	Circuito de Segurança	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
6	CONCLUSÃO	46
7	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Segundo Holler, W.R (2013), há uma grande variedade de desenvolvimento de projetos com foco em aplicações de sistemas visuais para inspeção de empresas de qualquer polo industrial, dentre elas estão a inspeção em produtos farmacêuticos, cosméticos, automotivos, de alimentos e bebidas, eletroeletrônicos, gráficos, entre outros. Segundo Daniel Nehme (2000), no Brasil, introduziu-se esta tecnologia na década de 80, utilizando técnicas de comparação de imagem, obtendo resultados razoáveis, porém com pouca precisão, posteriormente, na década de 90, introduziu-se técnicas de processamento de imagens baseados em extração de características, extraíndo-se dados numéricos de características existentes na imagem (por exemplo a área de uma peça, perímetro, etc.).

Normalmente utilizado para controlar a produção e inventário estatístico dos itens produzidos permitindo identificar algum item fabricado com alguma(s) falha(s). Além disso, a informação do sistema pode ser utilizada para bloquear a produção, ativar processos de correção, etc.

Segundo Faugeras, O. e Luong, Q. T. (2001), um sistema automático permite gerenciar uma linha de produção em tempo real, facilitando a implantação de uma análise estatística e a estocagem automática, bem como o trabalho de funcionários de determinadas empresas que realizam a ação de inspecionar produtos em uma linha de produção, esta tecnologia, possibilita, preservando a atividade humana com grande vantagem por não perderem desempenho em função devido a fadiga ou distrações. Assim, tornou-se ferramenta essencial nos processos produtivos por serem capazes de inspecionar as linhas de produção com alta precisão, velocidade, repetibilidade e consistência.

Segundo Tanaka, E. (1995), essa tecnologia gera vantagens competitivas por assegurar a qualidade, aumento da produtividade, prevenção de *recalls*, significativos ganhos de produtividade e eliminação de desperdícios nos processos produtivos, conseqüentemente reduzindo custos e melhorando a imagem da empresa. Segundo Zhang, D. e Lu, G. (2002), vale salientar que os sistemas de visão não "enxergam" da mesma maneira que os humanos.

Segundo Bunke, H. e Sanfeliu, A. (1990), os sistemas de visão processam pixels de imagens para extrair atributos e tomar decisões com base em informações fornecidas por humanos sobre a qualidade do produto em questão. Não intencionou-se igualar os sistemas de visão à adaptabilidade e compreensão humanas. É fundamental ter-se em mente que sistemas de visão são aplicados onde a aceitação ou reprovação de produtos não se baseia em atributos subjetivos ou não mensuráveis.

1.2 Objetivo

Desenvolver um protótipo de sistema mecatrônico de visão para reconhecimento e dimensionamento de materiais, tendo como padrão, a visão humana para aplicá-lo em processos de inspeção em linhas de fabricação.

1.2.1 Objetivo Geral

Projetar um sistema mecatrônico de visão, capaz de realizar, de forma eficaz e veloz, a tarefa de inspecionar objetos planares e industriais.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Desenvolver um sistema mecatrônico de visão para inspecionar as linhas de produção.
- Estudar e aplicar técnicas de processamento digital de imagens.
- Diminuir o tempo de processo de inspeção na fabricação de produtos industriais.

1.3 Motivação

Atualmente, os consumidores estão cada vez mais exigentes, prezando a qualidade dos produtos e serviços. Tal fato despertou uma competitividade acirrada no mercado. Para a empresa ter um produto competitivo, necessariamente deve ter um rígido controle de qualidade, e ineficiência de processos de inspeção gerou uma grande motivação, pois, é por meio deles que se conhece a confiabilidade dos produtos.

1.4 Justificativa

Baseia-se na aplicação dos conhecimentos acadêmicos recém adquiridos para a melhoria (automatização) de processos industriais de inspeção realizados atualmente, visto que a inspeção manual possui fatores relevantes que ocasionam um deficit, a diferença entre aquilo que se prevê e o que realmente existe, na confiabilidade de produtos. Por isso a escolha de um sistema mecatrônico de visão que realiza a inspeção de materiais industriais não possuindo fadiga, distrações ou qualquer outro motivo que venha ocasionar grandes ou pequenas perdas, garantindo uma maior satisfação do cliente com relação ao produto final e evitando desperdícios.

1.5 Organização do Trabalho

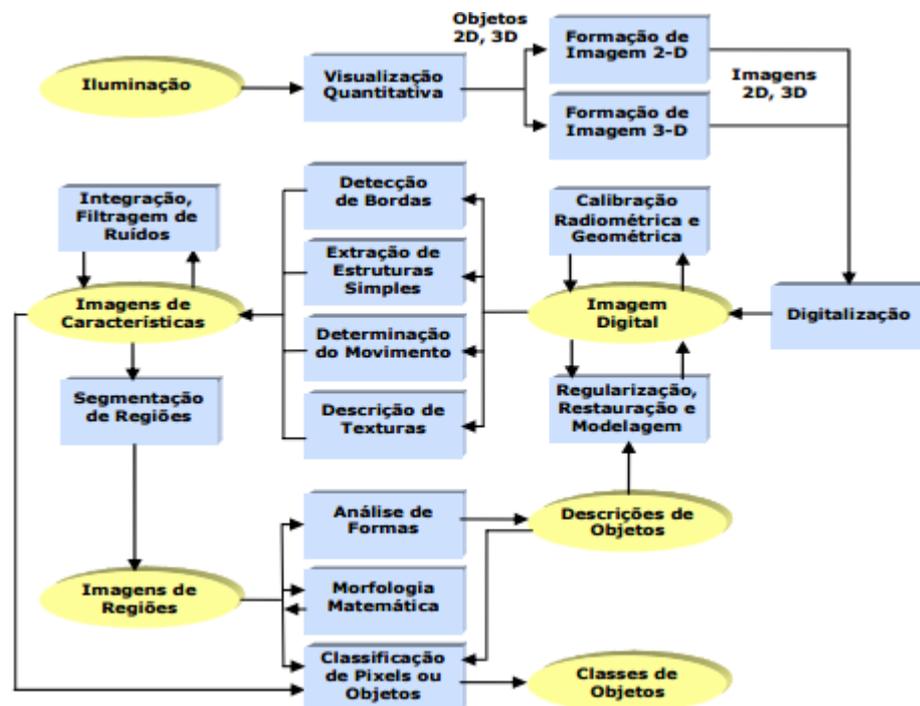
Este trabalho divide-se em etapas organizadas da seguinte forma: desenvolvimento do *software*, aplicação das técnicas de processamento digital de imagens, usabilidade do *software*, detalhamento do funcionamento e construção de um protótipo de *hardware* que seja totalmente compatível com as necessidades do *software*, utilização de controladores lógicos, esteira, manta xadrez e etc.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Processamento Digital de Imagem

Segundo Baxes, G. A. (1994), as técnicas voltadas para a análise de dados multidimensionais, adquiridos por diversos tipos de sensores recebem o nome de processamento digital de imagens, ou seja, é a manipulação de uma imagem por computador de modo onde a entrada e a saída do processo são imagens, como mostrado na figura abaixo:

Figura 1 – Organograma de processamento digital.



Fonte: PDI.Net

Segundo Umbaugh, S (1998), usa-se para melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais de imagens e para fornecer outras formas para a sua interpretação, inclusive gerando outras que possam ser posteriormente submetidas a outros processamentos. Inclui diversas áreas como a análise de recursos naturais e meteorologia por meio de imagens de satélites; transmissão digital de sinais de televisão; análise de imagens biomédicas; análise de imagens metalográficas e de fibras vegetais; obtenção de imagens médicas por ultra-som, radiação nuclear ou técnicas de tomografia computadorizada; aplicações em automação industrial envolvendo o uso de sensores visuais em robôs.

Segundo Noble, A. (1998), o uso de imagens multiespectrais registradas por satélites tais como, *Landsat*, *SPOT* ou similares é uma valiosa técnica para a extração dos dados destinados às várias aplicações de pesquisa de recursos naturais. A obtenção das informa-

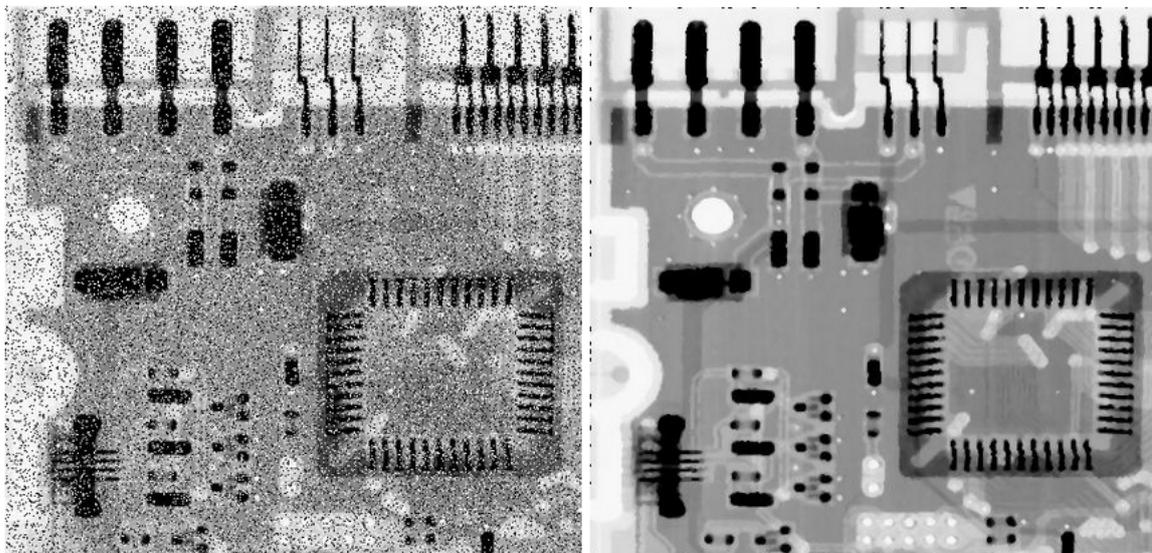
ções espectrais registradas pelos sistemas nas diferentes partes do espectro eletromagnético, visando a identificação e discriminação dos alvos de interesse, depende principalmente da qualidade da representação dos dados contidos nas imagens. As técnicas de processamento digital de imagens, além de permitirem analisar uma cena nas várias regiões do espectro eletromagnético, também possibilitam a integração de vários tipos de dados, devidamente georeferenciados. As imagens dividem-se em três: pré-processamento, realce e classificação.

Segundo Noble, A. (1998), pré-processamento refere-se ao processamento inicial de dados brutos para calibração radiométrica da imagem, correção de distorções geométricas e remoção de ruído. Realce visa melhorar a qualidade da imagem, permitindo uma melhor discriminação dos objetos presentes na imagem (vide Figura 2).

Segundo Papoulis, A. (1978), na classificação são atribuídas classes aos objetos presentes na imagem. A técnica de realce de contraste tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano (vide Figura 2). É normalmente utilizada como uma etapa de pré-processamento para sistemas de reconhecimento de padrões. O contraste entre dois objetos pode ser definido como a razão entre os seus níveis de cinza médios. A manipulação do contraste consiste numa transferência radiométrica em cada "pixel", com o objetivo de aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem. Realiza-se a operação ponto a ponto, independentemente da vizinhança.

Segundo Wang, Z., Bovik, A. C. (2004), a escolha do mapeamento direto adequado é, em geral, essencialmente empírica, pelo fato de possuir diversas formas de se realizar um processamento digital adequado. Entretanto, um exame prévio do histograma da imagem pode ser útil. O histograma de uma imagem descreve a distribuição estatística dos níveis de cinza em termos do número de amostras ("pixels") com cada nível. A distribuição pode também ser dada em termos da percentagem do número total de "pixels" na imagem. Pode ser estabelecida uma analogia entre o histograma de uma imagem e a função densidade de probabilidade, que é um modelo matemático da distribuição de tons de cinza de uma classe de imagens. A cada histograma associa-se o contraste da imagem.

Figura 2 – Imagem processada digitalmente



Fonte: AUTOR/VISION BUILDER

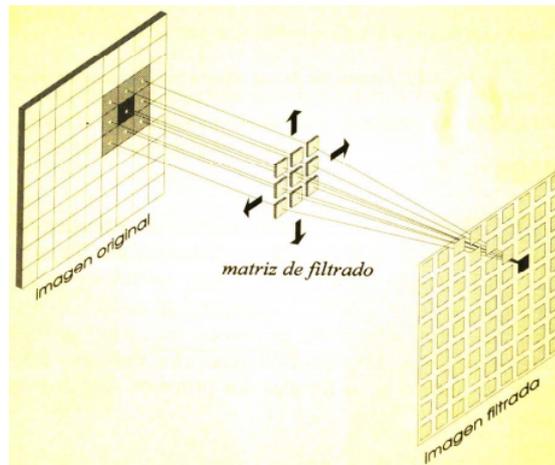
2.2 Filtragem

Segundo Galloway, M. M. (1975) a filtragem digital é uma transformação da imagem mediante operações locais. Na imagem filtrada o processamento de cada pixel está em função do processamento dos pixels do seu entorno na imagem inicial, sem modificações de suas coordenadas. Os filtros aplicam-se nas imagens para isolar ou destacar elementos de interesse, transformando os processamentos originais para aproximar seus valores a de seus vizinhos ou para diferenciá-los ainda mais. Os filtros digitais podem ser lineares (empregados com maior frequência) ou não lineares. O filtro digital é uma operação de convolução de uma imagem original com a função ou resposta do filtro (Vide Figura 3).

$$z'(x, y) = \iint_{-\infty}^{+\infty} h(u, v) f(x + u, y + v) dx dy$$

Os elementos $w(k, l)$ que constituem a matriz de filtragem são denominados coeficientes de peso e o entorno $[-g, g] \times [-h, h]$ a janela do filtro. Usualmente, $g = h$, quer dizer, a janela de filtragem é quadrada (3x3, 5x5, 7x7). Conforme seja o valor de g e h , a influência do entorno dos pixels e o valor digital calculado do pixel resultante e será progressivamente maior, modificando-se em consequência a aparência da imagem filtrada. O tamanho de janela mais utilizado é 3 x 3 elementos (vide Figura 3).

Figura 3 – Processo de filtragem



Fonte: PDI.Net

Assim que a filtragem de uma imagem mediante a seguinte matriz:

$$\begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} \end{bmatrix}$$

produzirá uma imagem da seguinte forma:

$$\begin{aligned} z'(m, n) = & w_{11}z(m-1, n-1) + w_{12}z(m, n-1) + w_{13}z(m+1, n-1) + \\ & + w_{21}z(m-1, n) + w_{22}z(m, n) + w_{23}z(m+1, n) + \\ & + w_{31}z(m-1, n+1) + w_{32}z(m, n+1) + w_{33}z(m+1, n+1) \end{aligned}$$

2.2.1 Filtro Passa Baixa

Segundo Nagel, H. H. (1983), o objetivo da aplicação deste tipo de filtro é suavizar a imagem mediante a uniformização de seus pixels. A denominação passa baixa refere-se ao fato que deixa passar os componentes de baixa frequência, retendo os de alta frequência, de tal maneira que na imagem de saída deixa de ter as mudanças bruscas de luminosidade. Os filtros passa baixa mais utilizados são:

$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

sendo que o primeiro é conhecido como filtro da média.

Este tipo de filtros se aplicam para a eliminação de ruídos da imagem e para eliminar faixas da imagem causado pelo defeito de algum sensor. Igualmente são utilizados para suavizar contrastes entre diferentes áreas da imagem, assim como para reduzir a variabilidade da cena antes de proceder sua classificação digital ou para eliminar pixels que ficaram isolados dentro de classes dominantes depois dos procedimentos de classificação. Em geral apresentam o defeito de eliminar excessivamente as bordas das áreas de diferentes ocupações existentes na imagem.

2.2.2 Filtro Passa Alta

Segundo Papoulis, A. (1969), quando o contraste nas imagens é reduzido a detecção das diferentes ocupações e a delimitação das fronteiras entre as mesmas costuma ser difícil. Esta situação dar-se com maior frequência nas imagens de inverno, quando a quantidade de radiação solar ao nível do solo é baixa em latitudes médias a altas. Nestas circunstâncias o objetivo é buscar um operador que consiga uma imagem transformada com mais contraste e com maior nitidez para o usuário de forma a melhorar a interpretação da imagem.

Segundo Parker, J. R. (1969), os filtros passa alta são aqueles que reforçam os componentes de alta frequência na imagem sem eliminar os de baixa frequência. O resultado é enfatizar os contrastes entre áreas contínuas provocando um aumento de definição dos objetos lineares da imagem. O objetivo é aumentar digitalmente o contraste entre os pixels vizinhos. Existem duas formas de obter um reforço das áreas de alta variabilidade. A primeira consiste em somar a imagem original a diferença entre ela mesma e a produzida por um filtro passa baixa, descrito na equação logo abaixo:

$$z''_{i,j} = z_{i,j} + (z_{i,j} - z'_{i,j}) = 2z_{i,j} - z'_{i,j}$$

Onde z é a imagem original, z'' a imagem realçada e z' o resultado da aplicação do filtro passa baixa.

No entanto existe um segundo procedimento que é mais utilizado que o anterior. Consiste na aplicação de matrizes ou janelas de filtragem, denominadas também filtros de detecção de bordas (edge enhancement). Para detectar as fronteiras entre as áreas contínuas da imagem com independência da direção delas é necessário atribuir um peso idêntico aos pixels circundantes ao central e ao pixel central um peso igual a soma de todos os coeficientes periféricos com sinal contrário. Com isso tem-se um gradiente isotrópico de designação de pesos aos oito pixels adjacentes ao central. As duas janelas mais utilizadas de filtros de passa alta são:

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

O primeiro é o filtro laplaciano e o segundo é o filtro laplaciano mais a própria imagem. Outros filtros de realce de bordas sem afetar a luminância da imagem são os seguintes:

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 5 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 \\ 0 & 5 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

2.2.3 Filtro Mediana

Segundo Parker, J. R. (1997), filtro da mediana é um filtro de passa baixa não linear, também conhecido como Janela de Tukey, idealizado para eliminar ruídos de imagem

respeitando as bordas existentes. Este filtro proporciona para um pixel da imagem transformada a mediana dos pixels ocupados pela janela móvel. Não existe, portanto uma janela única (valores fixos) para toda a imagem, já que os valores da janela móvel vão mudando de acordo com os pixels do local onde ela estiver. A expressão algébrica da Janela de Tukey de $m \times n$ elementos pode ser a seguinte:

$$k = (i - 1)m + j$$

Onde w_k é uma matriz unidimensional. Com ela se forma a série ordenada w'_k de tal forma que se verifique que a mediana será encontrada com:

$$med = w'_k \quad \left| \quad k = ENT \left[\frac{mn + 1}{2} \right] \right.$$

A aplicação do filtro da mediana respeita mais a forma dos objetos do que o filtro da média, no entanto em virtude de ser um filtro não linear muitas vezes os resultados são imprevisíveis. Portanto, devemos sempre testar este filtro antes de uma aplicação em toda a imagem para ver se os resultados são aqueles que desejamos.

2.3 Visão Computacional

Segundo Andrews, H. (1970), visão por computador é a área da ciência que se dedica a desenvolver teorias e métodos voltados à extração automática de informações úteis contidas em imagens. Tais imagens são capturadas por dispositivos, como câmera de vídeo, scanner, etc.

A recente evolução tecnológica dos computadores e dispositivos imageadores, a preços acessíveis, possibilitou a crescente aplicação de visão computacional nas mais diversas áreas. Como ilustrações em visão computacional podemos citar: análise automática de sêmen humano, medição computadorizada do dimensional de peças, rastreamento de alvos para detecção de intrusos, análise morfológica de células, reconhecimento e sintetização de faces humanas, entre outras.

A criação de sistemas de visão computacional, seja para aplicações em inspeção industrial ou para navegação de robôs móveis, envolve, quase sempre, a execução de um determinado conjunto de transformações em dados obtidos de sensores como câmeras e sonares. Com isto é possível a determinação de uma arquitetura de *software* que suporte as principais etapas do desenvolvimento, enfatizando o reaproveitamento de código e minimizando o esforço despendido em atividades repetitivas.

Uma interessante aproximação para construção de máquinas automáticas é expandir os sentidos por meio dos quais o computador pode comunicar-se com o mundo exterior. A utilização da visão de máquina amplia as aplicações em computadores, como por exemplo,

navegação móvel por robô, tarefas complexas de manufatura, análise de imagens de satélites e processamento de imagens médicas.

A visão computacional procura oferecer de modo mais eficiente possível uma vasta quantidade de informações ao sistema computacional para que este possa agir como esperado. O reconhecimento de padrões está engajado no campo da visão computacional com atuações e perspectivas importantíssimas para alcançar e realizar a "máquina inteligente".

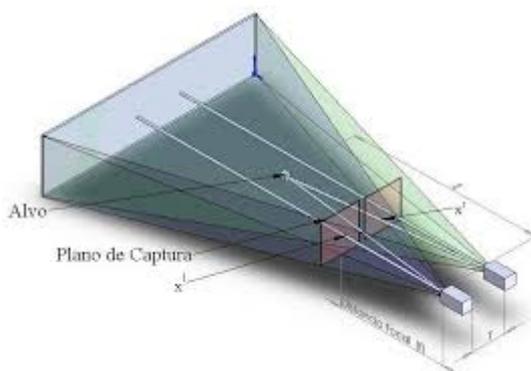
Segundo Wang, Z., Bovik, A. C. (2002), visão computacional é uma ciência baseada em fundamentos teóricos, a qual requer experimentos para que seja validada uma teoria e/ou algoritmo. Assim, há intenção de se estudar percepção visual orientada por tarefa (visão com propósito) e realimentação visual. Consequentemente, a aquisição de imagens torna-se um processo dinâmico a ser controlado de acordo com as informações visuais obtidas e ainda por extrair. As informações provenientes das imagens são empregadas no controle de parâmetros como atitude angular da cabeça, vergência entre as câmeras, distância focal, foco e abertura do diafragma, por meio de sinais de ativação enviados por uma rede de computadores que hospedam os algoritmos de visão e controle.

2.4 Calibração

Segundo Winston, P. H. (1975), a aplicação de sistemas computacionais para a automação da calibração de sistemas de medição é uma realidade nos dias atuais. Através da utilização desse tipo de aplicação é possível obter reprodutividade e exatidão, que são requisitos de um sistema de calibração. A calibração de dispositivos não equipados com interfaces de comunicação, por outro lado, dificulta a aplicação de sistemas automatizados. Nesses casos, é necessária a aplicação de procedimentos manuais, que envolvem, entre outras atividades, a leitura repetitiva de medidas feitas por um técnico, que manualmente anota os valores de medida exibidos no dispositivo em calibração. Essa atividade torna a calibração um processo custoso, em termos humanos, e o número de pontos medidos é reduzido para o mínimo aceitável, interferindo a exatidão final da calibração e aumentando a possibilidade de erros humanos. Diante das profundas evoluções da ciência e da tecnologia, este processo manual tende a cair em desuso em um processo industrial que exige qualidade e eficiência.

A calibração é dividida em três etapas básicas: aquisição da imagem de calibração, processo de calibração e otimização. A aquisição da imagem de calibração está relacionada com a obtenção de um conjunto de dados de entrada (vide Figura 4).

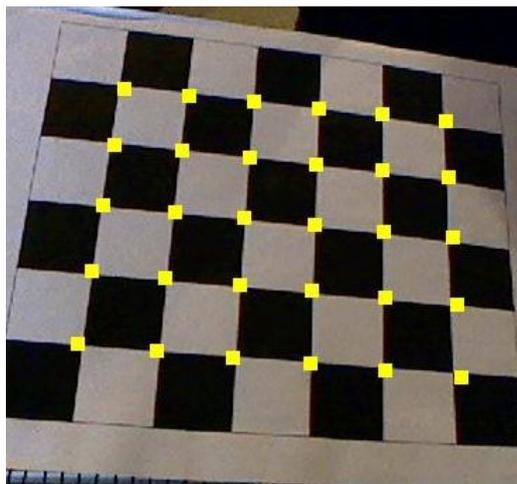
Figura 4 – Aquisição de imagem



Fonte: PDI.Net

Os métodos estudados permitem a calibração do sistema óptico através da comparação de um conjunto de pontos de um padrão de calibração, com geometria conhecida. Os padrões mais utilizados são o tabuleiro de xadrez e a matriz de pontos (vide Figura 5).

Figura 5 – Tabuleiro de xadrez e matriz de pontos



Fonte: PDI.Net

A correspondência é o passo que precede a aquisição da imagem do padrão. Métodos de correspondência determinam a relação entre os pontos do padrão e suas respectivas projeções nas imagens. A partir dessa relação é possível determinar pares de pontos correspondentes entre o padrão e a imagem. A especificação dos pontos pode ser feita de forma manual (o usuário escolhe os pontos que serão utilizados pela calibração), automática (o método de correspondência identifica automaticamente os pontos utilizando técnicas de processamento de imagem) e semiautomática, (o usuário seleciona alguns pontos e o método faz uma interpolação para obter os demais pontos). Para este trabalho, foi utilizado a especificação de pontos semi-automática.

Após a aquisição e correspondência são aplicados os métodos de calibração, cujos objetivos principais incluem a obtenção dos parâmetros intrínsecos e extrínsecos da câmera. Enquanto os primeiros correspondem às características ópticas e geométricas internas da

câmera, como distância focal, fatores de escala, posição (em pixel) da projeção ortogonal do centro óptico no plano de projeções e os coeficientes de distorção, os parâmetros extrínsecos informam a posição e orientação da câmera em relação a um sistema de coordenadas global. Obtendo os parâmetros da câmera, é possível realizar a correção das imagens obtidas (vide Figura 6) e a localização dos elementos presentes nela.

Figura 6 – Resultado da calibração



Fonte: PDI.Net

2.5 Segmentação

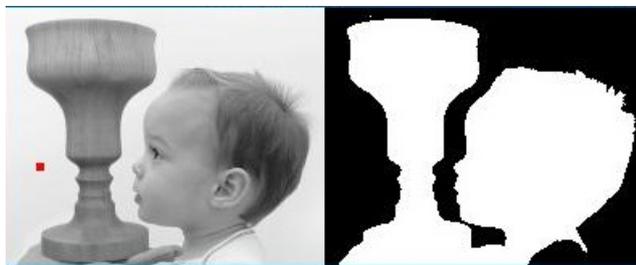
Segundo Andrews, H. (1970), a segmentação consiste na primeira etapa de processamento da imagem quando consideramos uma análise do ponto de vista da informação nela presente. O termo segmentação vem do termo em inglês "*image segmentation*", criado durante os anos 80. Esta área representa até hoje uma linha de pesquisa importante do processamento de imagens, principalmente por ela estar na base de todo o processamento da informação em uma imagem.

Segundo Everaldo Luis (2000), segmentar consiste na realidade em dividir a imagem em diferentes regiões, que serão posteriormente analisadas por algoritmos especializados em busca de informações ditas de "alto-nível". Por exemplo cada pixel na imagem em escala de cinza poderiam ser segmentadas em duas regiões: aqueles pertencentes as células e aqueles pertencentes ao fundo da imagem. A imagem obtida neste caso é composta por apenas duas regiões, por exemplo uma região branca (fundo) e outra preta (células/objeto) e esta é conhecida como Imagem Binária.

Devido as grandes facilidades na manipulação destes tipos de imagens, principalmente porque reduzimos consideravelmente a quantidade de dados, elas são enormemente utilizadas. Existem diversas técnicas de segmentação de imagens, mas não existe nenhum método único que seja capaz de segmentar todos os tipos de imagem. Globalmente, uma imagem em níveis de cinza pode ser segmentada de duas maneiras: ou consideramos a semelhança entre os níveis de cinza ou consideramos as suas diferenças. A detecção de um contorno de um objeto, através de matrizes do tipo Passa-Alta, é um exemplo de técnicas baseadas nas diferenças. Neste caso estamos segmentando as imagens em regiões

que pertencem a borda do objeto e aquelas que pertencem ao interior do objeto ou fundo da imagem (vide Figura 7).

Figura 7 – Imagem binarizada



Fonte: PDI.Net

2.5.1 Segmentação orientada a regiões

Segundo Parker, J. R. (1969), a segmentação orientada a regiões se fundamenta na similaridade dos níveis de cinza da imagem. O crescimento de regiões é um procedimento que agrupa pixels ou sub-regiões de uma imagem em regiões maiores. A variante mais simples da segmentação orientada a regiões é a agregação de pixels, que se fundamenta na definição de uma semente, i.e., um conjunto de pontos similares em valor de cinza, a partir do qual as regiões crescem com a agregação de cada pixel à semente à qual estes apresentem propriedades similares (e.g. nível de cinza, textura ou cor). A técnica apresenta algumas dificuldades fundamentais, se afigurando como problemas imediatos a seleção de sementes que representem adequadamente as regiões de interesse; e a seleção de propriedades apropriadas para a inclusão de pontos nas diferentes regiões, durante o processo de crescimento. A disponibilidade da informação apropriada possibilita, em cada pixel, o cálculo do mesmo conjunto de propriedades que será usado para atribuir os pixels às diferentes regiões pré- definidas, durante o processo de crescimento. Caso o resultado de tal cálculo implique agrupamentos de valores das propriedades, os pixels cujas propriedades se localizarem mais perto do centróide desses agrupamentos poderão ser usados como sementes.

2.5.2 Segmentação baseada em bordas

Segundo Parker, J. R. (1969), a detecção de bordas, anteriormente discutida, possibilita a análise de discontinuidades nos níveis de cinza de uma imagem. As bordas na imagem de interesse caracterizam os contornos dos objetos nela presentes, sendo bastante úteis para a segmentação e identificação de objetos na cena. Pontos de borda podem ser entendidos como as posições dos pixels com variações abruptas de níveis de cinza. Os pontos de borda caracterizam as transições entre objetos diferentes. Várias técnicas de segmentação baseiam-se na detecção de bordas, sendo as mais simples aquelas nas quais as bordas são

detectadas pelos operadores de gradiente (e.g. Sobel, Roberts, Laplaciano), seguida de um processo de limiarização.

2.5.3 Limiarização (Thresholding)

Segundo Evans, D. M. W. (2004), limiarização é uma abordagem para a segmentação fundamentada na análise da similaridade de níveis de cinza, de modo a extrair objetos de interesse mediante a definição de um limiar T que separa os agrupamentos de níveis de cinza da imagem. Uma das dificuldades do processo reside na determinação do valor mais adequado de limiarização, i.e., do ponto de separação dos pixels da imagem considerada.

Por meio da análise do histograma da imagem, é possível estabelecer um valor na região do vale situado entre picos que caracterizam regiões de interesse na imagem. Há diversas variantes de limiarização. A mais simples delas é a técnica do particionamento do histograma da imagem por um limiar único. A segmentação se dá varrendo-se a imagem, pixel a pixel, e rotulando-se cada pixel como sendo do objeto ou do fundo, em função da relação entre o valor do pixel e o valor do limiar. O sucesso deste método depende inteiramente de quão bem definidas estão as massas de pixels no histograma da imagem a ser segmentada.

2.6 Reconhecimento

Segundo Zhang, D. e Lu, G. (2002), a próxima tarefa após a segmentação é o reconhecimento dos objetos ou regiões resultantes. O objetivo do reconhecimento de padrões é identificar objetos na cena a partir de um conjunto de medições. Cada objeto é um padrão e os valores medidos são as características desse padrão. Um conjunto de objetos similares, com uma ou mais características semelhantes, é considerado como pertencente à mesma classe de padrões. Há diversos tipos de características, cada uma das quais é obtida a partir de uma técnica específica. Além disso, características de ordem mais alta advêm da combinação de características mais simples, e.g. cada letra do alfabeto é composta por um conjunto de características como linhas verticais, horizontais e inclinadas, bem como segmentos curvilíneos. Enquanto a letra A pode ser descrita por duas linhas inclinadas e outra horizontal, a letra B pode ser descrita por uma linha vertical e 2 curvilíneas conectadas em pontos específicos. Outras características relevantes para um objeto 2D ou 3D são a área, volume, perímetro, superfície, dentre outras, as quais podem ser medidas a partir da contagem de pixels. Analogamente, a forma de um objeto pode ser descrita em termos de suas bordas. Outros atributos mais específicos para a forma podem ser obtidos através de invariantes de momentos, descritores de Fourier, eixos medianos dos objetos, dentre outros. Para realizar o reconhecimento de objeto, existe uma grande variedade de técnicas de classificação.

Segundo Tanaka, E. (1995), reconhecimento é a parte do processamento que vai classificar os objetos à partir de informações encontradas na imagem, geralmente em acordo com um banco de dados previamente estabelecido. Esta fase é geralmente aplicada após uma fase de segmentação da imagem e de uma fase de parametrização. A fase de parametrização identifica e calcula alguns parâmetros (pré-determinados) nos objetos segmentados (como exemplo de algum parâmetro podemos citar o perímetro ou a área de uma determinada forma).

A título de exemplo considere a "assinatura" de uma forma. A representação de uma forma pela sua assinatura é simples e permite facilmente compreender a análise envolvida a ser realizada no seu reconhecimento. Por "assinatura de uma forma" se compreende como a função representativa da distância de todos os pontos da borda do objeto em relação ao seu centro de gravidade.

2.7 Trabalhos Relacionados

O objetivo desta seção é fornecer exemplos que abordem alguns dos conceitos e operações apresentadas no decorrer do trabalho. Com o fim de promover a disseminação da área no Brasil, os exemplos de aplicações apresentados a seguir foram selecionados dos anais do principal evento nacional da área, o Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens.

1. SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS (2008) : A segmentação de imagens tem como principal objetivo a separação de objetos de interesse do background da imagem. Na segmentação por limiarização, a escolha de um limiar normalmente depende de características intrínsecas da imagem, e.g. entropia e outras estatísticas, não levando usualmente em conta a percepção humana do processo de segmentação. Numa abordagem alternativa para realizar a limiarização de imagens em tons de cinza, foi proposto em um método de modelagem perceptiva que aprende a decisão humana na limiarização através de uma rede de funções de base radial (RBFN), uma máquina de aprendizagem que permite aproximar a função que mapeia características globais da imagem (e.g. desvio padrão dos tons de cinza) em limiares escolhidos por humanos. A partir de imagens de treinamento, o usuário seleciona o limiar (nível de cinza) que melhor separa os pixels do background daqueles do objeto. As decisões são armazenadas em uma tabela de 2 colunas, a primeira coluna armazena o limiar escolhido e a outra armazena uma característica global da imagem. Essa tabela é então utilizada para o treinamento da RBFN. Como resultado da comparação da modelagem perceptiva com três outros métodos automáticos de segmentação por limiarização, verificou-se que as respostas humanas possuíam alta correlação com alguns dos métodos automáticos avaliados, demonstrando a viabilidade da abordagem proposta. Considerem-se uma imagem digital $F = [f(x,y)]$ e sua versão G

= $[g(x,y)]$ filtrada através de um filtro de média ou, conforme proposto pelos autores, filtrada através de uma reconstrução morfológica. Ambas as imagens possuem dimensões M versus N e com $0, \dots, L-1$ tons de cinza. O histograma 2D $C=c_{ij}$ de dimensões L versus L é computado a partir de quaisquer pares de pixels $f(x,y)$ e $g(x,y)$ que possuem os tons de cinza iguais a i e j , respectivamente, podendo ser formalizado como segue: $c_{ij} = f(x,y), g(x,y) \mid f(x,y) = i, f(x,y) = j$, em que o operador denota a cardinalidade do conjunto operando. A partir do histograma 2-D é realizado um processo de agrupamento das regiões da imagem que correspondem a 3 classes: blocos de endereço e carimbos postais, selos e background do envelope. Esse agrupamento é conduzido através da operação de watershed. Uma vez que o histograma 2-D pode ser visto como uma topografia na qual os maiores valores correspondem a picos e os menores a vales, se uma gota de água é depositada em um ponto qualquer da região do histograma, ela irá escoar para um vale (ponto de mínimo local). A área da watershed associada ao mínimo M é definida como sendo o agrupamento de todos esses pontos de mínimo cuja elevação tem valor igual a M . O ponto de encontro entre duas áreas de watershed gera uma borda que é o resultado final da operação. A complexidade das imagens de envelope gerou histogramas 2-D com um número muito elevado de vales (tipicamente mais de 25). Para evitar uma supersegmentação da imagem, realizou-se uma seqüência de erosões morfológicas de modo a reduzir o número de regiões para apenas 3, correspondendo exatamente ao número de classes a serem segmentadas. Uma avaliação experimental demonstrou que o bloco de endereço com carimbos postais foi segmentado corretamente em 75 por cento dos casos, o que demonstra uma significativa robustez.

2. RECONHECIMENTO DE MANUSCRITOS (2006) : Diferentemente da escrita mecânica, na qual há uma grande regularidade na forma, intensidade e posicionamento das palavras e caracteres, apesar das diferentes fontes e estilos, os manuscritos apresentam enorme variação em todos esses aspectos, além de serem dependentes do autor. Aplicações típicas envolvem a verificação de assinaturas e o reconhecimento de textos manuscritos na forma de caracteres isolados e palavras inteiras, dentre outros. No trabalho foi apresentada uma avaliação de duas abordagens para o reconhecimento de palavras isoladas dos meses do ano: uma baseada em Redes Neurais (RN) e a outra baseada em Modelos de Markov Escondidos (MME). O primeiro estágio do processamento consistiu de 3 etapas: (i) correção da inclinação geral dos caracteres; (ii) detecção e correção de inclinações na linha de base da palavra inteira; e (iii) utilização de um filtro para atenuação de imperfeições e falhas nos manuscritos. O estágio seguinte foi específico para cada classificador utilizado. Para o classificador neural, dividiu-se a imagem dos manuscritos em 8 sub-regiões fixas, correspondendo a aproximadamente o número médio de letras no conjunto de palavras a serem reconhecidas (meses do ano). Para cada uma das sub-regiões, um total de 10 características

perceptivas foi extraído, produzindo um padrão com 80 características para cada palavra. As características perceptivas foram obtidas a partir da análise direcional dos pixels e incluíram as posições e tamanho das linhas ascendentes, descendentes e loops fechados, além dos ângulos das concavidades e uma estimativa para o tamanho da palavra. A ausência de uma dessas características numa sub-região particular foi indicada pelo valor 1. Para o classificador de Modelos de Markov Escondidos, a partir do histograma de projeção horizontal dos pixels da imagem do manuscrito, três zonas foram definidas: ascendente, corpo e descendente. Um processo de segmentação variável, dependente das transições escuro-claro presentes na linha central da palavra, é aplicado. Em seguida, para cada segmento, foram identificadas características perceptivas e características baseadas em deficiências na concavidade/convexidade dos traços encontrados nesses segmentos. Na avaliação experimental, 3600 imagens de manuscritos contendo os meses do ano foram utilizadas para treinamento, 1200 para teste e 1200 para validação dos classificadores. Como resultado, verificou-se que a melhor taxa de reconhecimento ocorreu para o classificador neural utilizando características perceptivas (81,8 por cento), enquanto foi possível obter uma taxa de reconhecimento muito superior combinando 3 classificadores (um baseado em Modelos de Markov Escondidos e 2 baseados em Redes Neurais), com um resultado de 90.4 por cento de correta classificação.

3. CLASSIFICAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE IMAGENS POR CONTEÚDO (2003):

A classificação e recuperação de imagens por conteúdo têm forte relação com as áreas de sistemas de informação e banco de dados. Uma consulta tradicional a um banco de dados normalmente envolve a utilização de chaves textuais ou numéricas como parte de expressões relacionais e lógicas. O próximo passo lógico é justamente incluir campos e operações (e.g. classificação, segmentação, etc.) sobre imagens na consulta. Atualmente existem vários sistemas de banco de dados comerciais (e.g. Oracle) e não-comerciais (e.g. Postgres) que permitem algumas funcionalidades envolvendo imagens. Um sistema para a classificação de imagens coletadas da Web em duas classes semânticas, gráficos e fotografias, foi apresentado por [20]. O sistema utilizou um método de classificação baseado em árvores de decisão (ID3, um algoritmo de indução de árvores de decisão a partir de exemplos, popular na área de IA). Foi identificado um conjunto de características adequadas à separação entre as duas classes semânticas escolhidas. Características marcantes de fotografias identificadas no trabalho foram: (i) existências de objetos reais com uma tendência a texturas e ausência de regiões com cores constantes; (ii) pequenas diferenças na proporção (altura x largura); (iii) poucas ocorrências de regiões com alta saturação de cores; e (iv) presença de um grande número de cores utilizadas. As características identificadas como marcantes de gráficos foram: (i) presença de objetos artificiais com bordas bem definidas bem como a presença de regiões cobertas com cores

saturadas; e (ii) grandes diferenças na proporção e tendência a serem menores em tamanho do que fotografias. Assim, foram definidas métricas sobre o número de cores, a cor predominante, o vizinho mais distante, a saturação, o histograma de cores, o histograma do vizinho mais distante, a proporção das dimensões e a menor dimensão. As duas primeiras métricas, diretas, não serão mencionadas neste texto. A métrica do vizinho mais distante é baseada nas transições entre cores. Para dois pixels p_1 e p_2 , de cores (r_1, g_1, b_1) e (r_2, g_2, b_2) , foi definida uma medida de distância d como sendo: $d = |r_1 - r_2| + |g_1 - g_2| + |b_1 - b_2|$. Considerando que cada componente de cor varia de 0 a 255, então d varia de 0 a 765. A partir de uma vizinhança de 4 pixels (acima, abaixo, esquerda e direita), um vizinho p_2 de p_1 é considerado como sendo o vizinho mais distante se a medida d para p_2 for a maior de todas as distâncias dentro da vizinhança. A métrica de saturação de um pixel $p = (r, g, b)$ é definida como $|m - n|$, em que m e n são os valores mínimo e máximo entre os valores de r, g e b , respectivamente. A métrica do histograma de cores é definida a partir da correlação entre o histograma de uma imagem t de teste e os histogramas médios para um conjunto de referência f de fotografias e outro conjunto de referência g para gráficos. Supondo $a = C(H_t, H_f)$ e $b = C(H_t, H_g)$, em que C é a correlação (produto interno) entre dois histogramas, a métrica do histograma de cores foi definida como $s = b / (a + b)$. Claramente, a medida que a aumenta, s também aumenta, e, à medida em que b aumenta, s diminui. Assim, espera-se que fotografias tenham uma resposta maior em s quando comparadas a gráficos. A métrica do histograma do vizinho mais distante baseou-se nas mesmas premissas da métrica do vizinho mais distante, mas fornece uma forma diferente de testar a imagem. A métrica da proporção é definida como m / l , em que m é o valor máximo entre a altura e a largura da imagem e l é o valor mínimo. Finalmente, a métrica da menor dimensão é simplesmente o valor de l . Na fase experimental, foram definidos dois conjuntos de treinamento, contendo gráficos e fotografias nos formatos e imagem GIF (3058 gráficos e 1350 fotografias) e JPEG (1434 gráficos e 4763 fotografias). Para cada conjunto de treinamento, foram extraídas as métricas discutidas acima e cada vetor de características de uma dada imagem recebeu um rótulo (gráfico ou fotografia) através de inspeção visual da imagem. A aplicação do algoritmo ID3 gerou uma árvore de decisão para a classificação de cada conjunto. As taxas médias de classificação correta em imagens de teste, não utilizadas durante o treinamento, corresponderam a 97,3 por cento para imagens GIF e 93,9 por cento para imagens JPEG, com desvios padrão de 1,6 e 2,6, respectivamente.

3 SOFTWARE

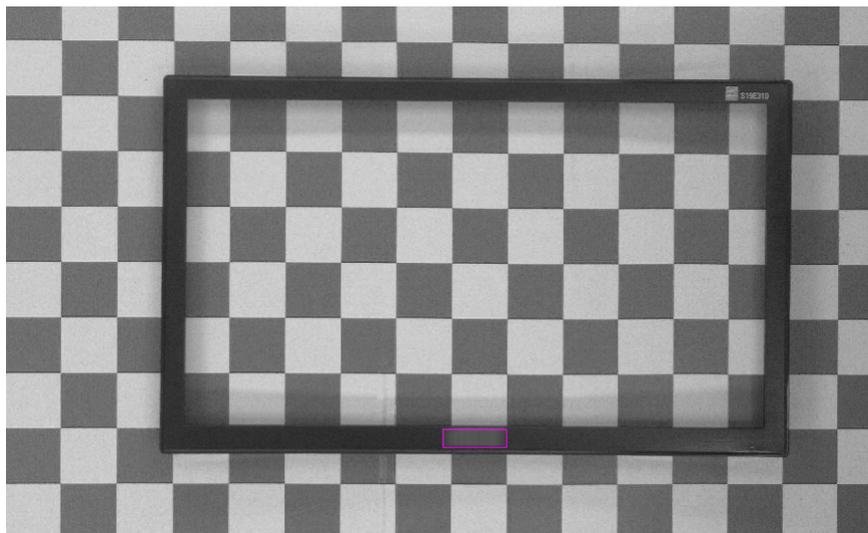
De acordo com às necessidades oferecidas para a aplicação e funcionalidade do sistema, o qual está voltado para o dimensionamento e reconhecimento de partes industriais, a inspeção compõe-se por peças colocadas em posição pré-definida pelo campo visual de uma câmera de vídeo. Estas peças devem ser rígidas e planares, pelo fato de estar tratando de um sistema que não leva em consideração, para fins de inspeção, reconhecimento e dimensionamento, a forma tridimensional das mesmas, mas apenas a sua borda.

A aquisição de imagens faz-se em vários níveis de cores, efetuando-se posteriormente uma binarização, de modo a trabalhar apenas com dois níveis de intensidade, imagem binarizada (*HSI INTENSITY*), utilizado para que possa processar a imagem. A seguir detalhar-se o funcionamento do *Software*, que no caso, utilizou-se o *LABVIEW*, por possuir bibliotecas completas de processamento digital, e sua extensão para Inspeções Automatizadas, *VISION BUILDER*.

3.1 Aquisição da imagem padrão para treinamento do Software

O primeiro passo é realizar a captura da imagem a ser inspecionada (vide Figura 8), a qual, tem como referência a iluminação que não é refletida na superfície dos objetos, realizada por meio de um sistema ou produtos de captura, nesse caso a câmera.

Figura 8 – Exemplo de Imagem Padrão



Fonte: AUTOR/VISION BUILDER

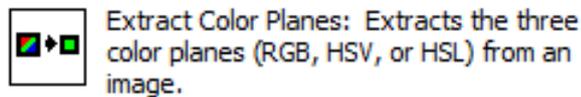
Feita a captura da imagem, por um processo de digitalização, a mesma precisa ser posicionada da melhor forma, para que seja processada computacionalmente. Imagens podem ser representadas em duas ou mais dimensões. O primeiro passo efetivo de

processamento é comumente conhecido como pré-processamento, o qual envolve passos como a filtragem de ruídos introduzidos pelos sensores e a correção de distorções geométricas causadas pelo sensor.

3.2 Binarização da imagem

Para que seja feita a separação dos objetos que deseja-se e análise da imagem inicial, utiliza-se técnicas de binarização ou limiarização. A binarização é o método mais simples de segmentação de imagens. Resumidamente consiste em separar uma imagem em regiões de interesse e não por meio da escolha de um ponto (vide Figura 10). Essas regiões representam-se por pixels pretos e brancos. Os métodos mais simples de limiarização utilizam um único ponto de corte também conhecido por threshold. Em alguns casos, no entanto, não se consegue apenas um limiar que resulte em uma boa segmentação para toda a imagem. Para esses casos existem técnicas de limiarização variáveis e multiníveis baseadas em várias medidas estatísticas. No programa implementado faz-se o uso de uma técnica de limiarização global simples, ou seja, utilizando apenas um ponto de threshold (vide Figura 9) já que o conteúdo das imagens processadas nesse trabalho são basicamente bimodais (dois tons de cores).

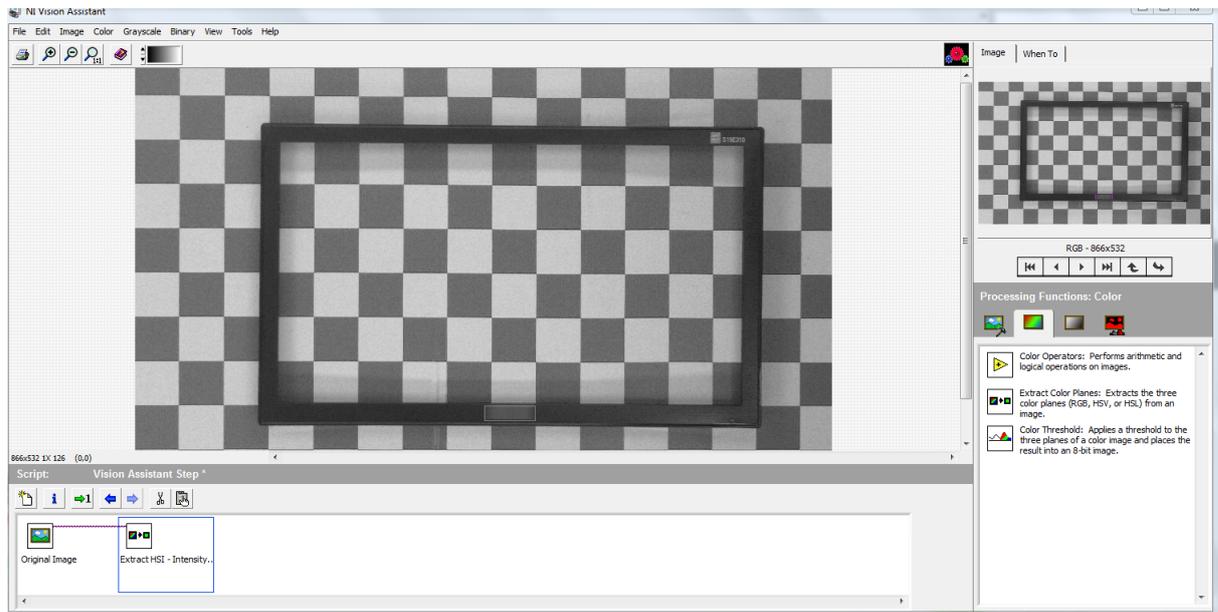
Figura 9 – Step de Binarização



Fonte: AUTOR/VISION BUILDER

Essa ferramenta do *vision builder*, tem a função de extrair os planos de cores das imagens capturadas (H e S) da sua intensidade (I), S pode ser interpretado com a pureza da cor (distância para a cor pura) e H pode ser interpretado com a distância para o vermelho. Fazendo a conversão de uma imagem de 64, 32 ou 16 bits, para 8 bits, têm-se o tamanho ideal de uma imagem para ser processada digitalmente.

Figura 10 – Imagem Binarizada



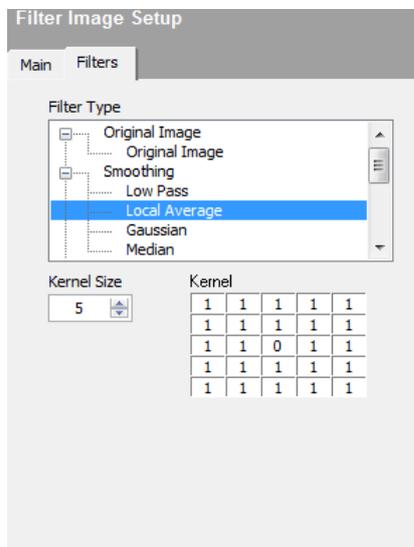
Fonte: AUTOR/VISION BUILDER

3.3 Filtragem das imagens

Segundo Almeida, L.B. (1994), as técnicas de filtragem são transformações da imagem pixel-a-pixel, que não dependem apenas do nível de cinza de um determinado pixel, mas também do valor dos níveis de cinza dos pixels vizinhos. O processo de filtragem é feito utilizando matrizes denominadas máscaras, as quais são aplicadas sobre a imagem. Para que consiga-se reconhecer o bordo, utiliza-se técnicas científicas e acadêmicas de processamento digital de imagens, sendo um deles mais comum, o filtro médio (vide Figura 11 e 12).

3.3.1 Filtro médio

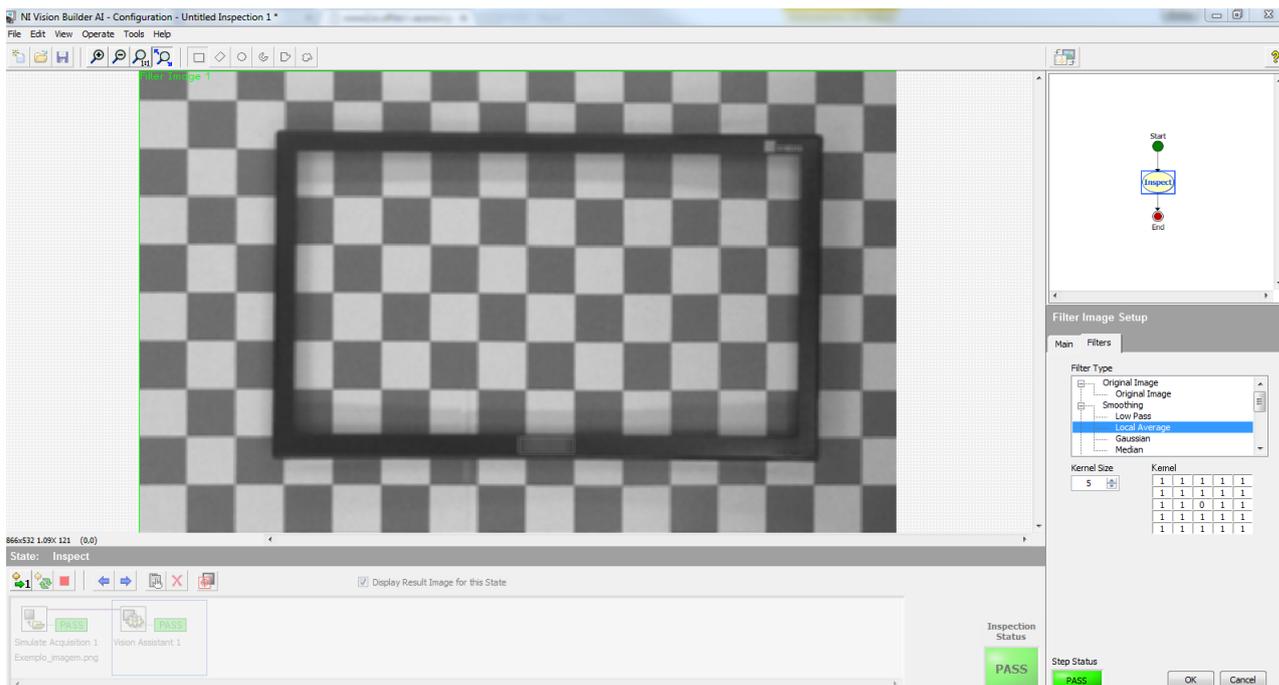
Figura 11 – Aplicação Filtro Médio



Fonte: AUTOR/VISION BUILDER

Segundo Abend, K., Harley, T. J. (1965), Aplicação do Filtro médio local, utilizando uma matriz 5x5, é necessária para esse modelo de material. Utilizou-se para retirar o *salt and pepper*, gerando a nitidez e suavizando a imagem, reduzindo variações bruscas de níveis de cinza entre pixels adjacentes, e podem ser usados para redução de ruídos ou interferências de origens diversas.

Figura 12 – Filtro Médio Local

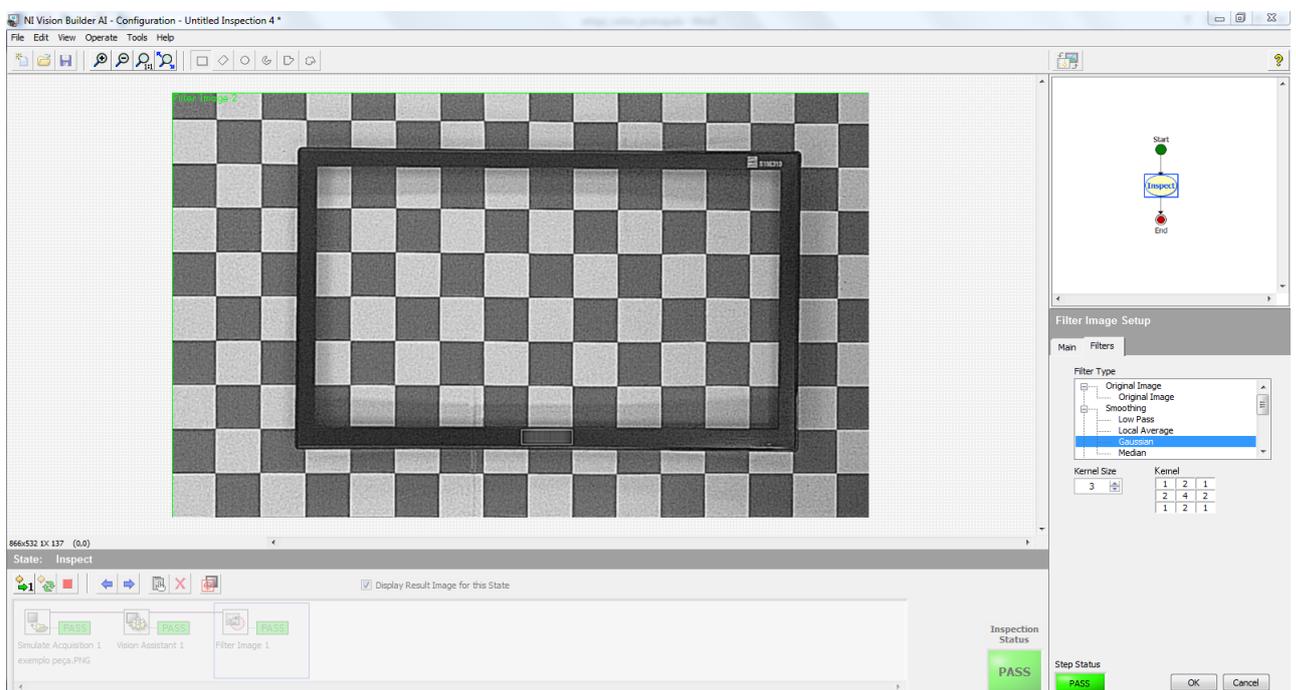


Fonte: AUTOR/VISION BUILDER

3.3.2 Filtro gaussiano

Segundo Daniel Nehme, Everaldo Luis (2000), a aplicação de um Filtro Gaussiano (vide Figura 13) atenua as altas frequências com menor borramento de arestas. Como a imagem processada é muito sensível a ruídos, ela geralmente deve ser processada por um passa baixa como o filtro Gaussiano antes de aplicada na imagem. No entanto como estas duas operações são lineares e associativas, aplica-se no kernel do filtro e depois na imagem, reduzindo bem o tempo de processamento, pois o tamanho de ambos é muito menor do que o da imagem.

Figura 13 – Aplicação do filtro gaussiano

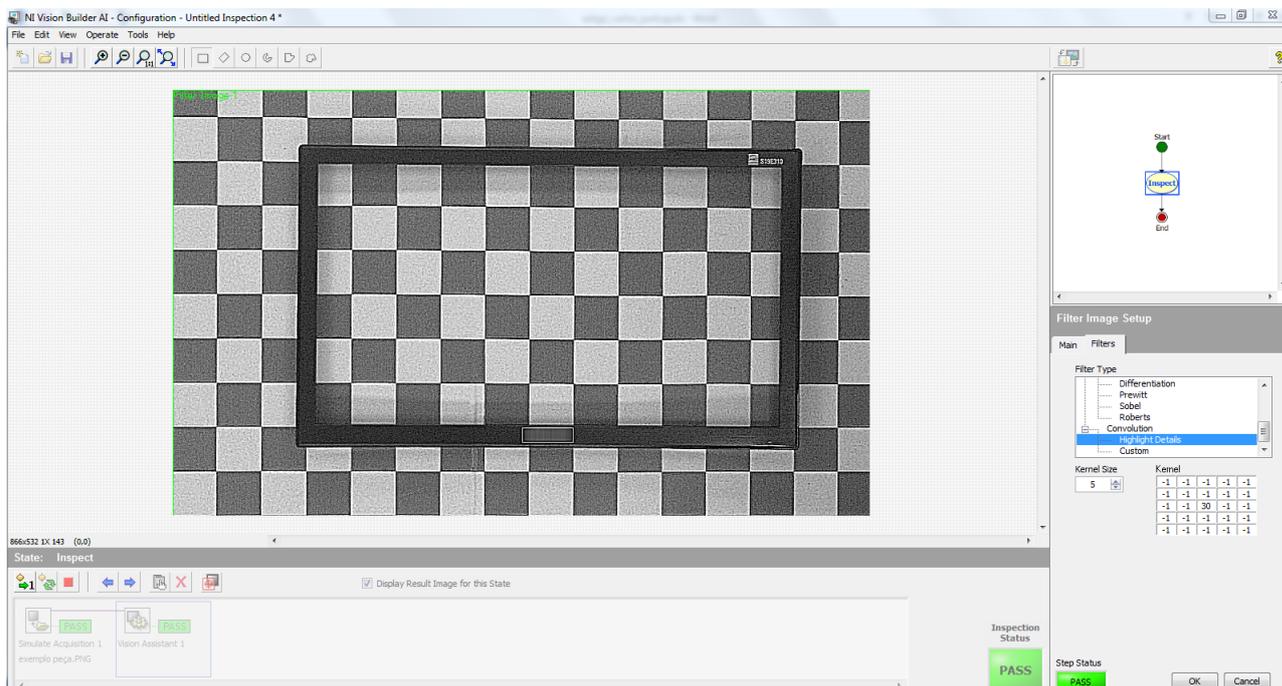


Fonte: AUTOR/VISION BUILDER

3.3.3 Filtro highlight

Filtro HighLight – Segundo Asano, T. (1996), utilizado para realçar o detalhe e bordo das imagens, para que seja feito o reconhecimento e dimensionamento do material (vide Figura 14).

Figura 14 – Aplicação do filtro highlight



Fonte: AUTOR/VISION BUILDER

3.4 Reconhecimento de padrões

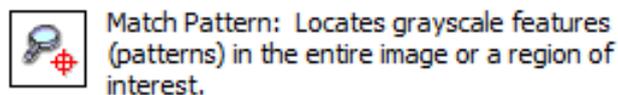
De uma forma geral, os sistemas de visão devem reconhecer padrões com suas respectivas tolerâncias, sendo estes informados pelo usuário na etapa de customização. Na operação do sistema, além da etapa de customização, etapa de definição de parâmetros, distinguem-se duas fases: a fase de aprendizagem e a fase de reconhecimento. A fase de aprendizagem é utilizada para a criação da representação interna das peças a serem reconhecidas, gerando o banco de peças do sistema.

Na fase de reconhecimento, a cada peça observada, sofre um tratamento semelhante ao da fase de aprendizado, para que se determine a sua representação; a seguir é feita uma busca no banco do sistema, confrontando-se as características da peça em questão com aquelas das peças armazenadas, sob a mesma representação, na fase de aprendizado. Em ambas as fases de operação, um gerenciador seleciona a técnica mais adequada para o tratamento de cada peça, objetivando maximizar a eficiência dos processos.

Uma das estratégias que o sistema de visão computacional utiliza para o reconhecimento e dimensionamento de peças está baseada em contornos. Nesta estratégia, depois de extraídos os contornos da imagem, por meio do tratamento utilizando processamento digital de imagem, segmentação, capturada, geram-se as cadeias de vetores elementares correspondentes a cada uma delas, e a partir das listas de vetores elementares, o gerenciador obtém os valores dos atributos globais correspondentes à peça observada, e também os segmentos salientes, os segmentos salientes são aqueles que têm como característica

fundamental a capacidade de identificar de maneira inequívoca uma peça, sua posição e orientação. Após realizado os tratamentos, o próximo passo é o de reconhecimento (vide Figura 15 e 16).

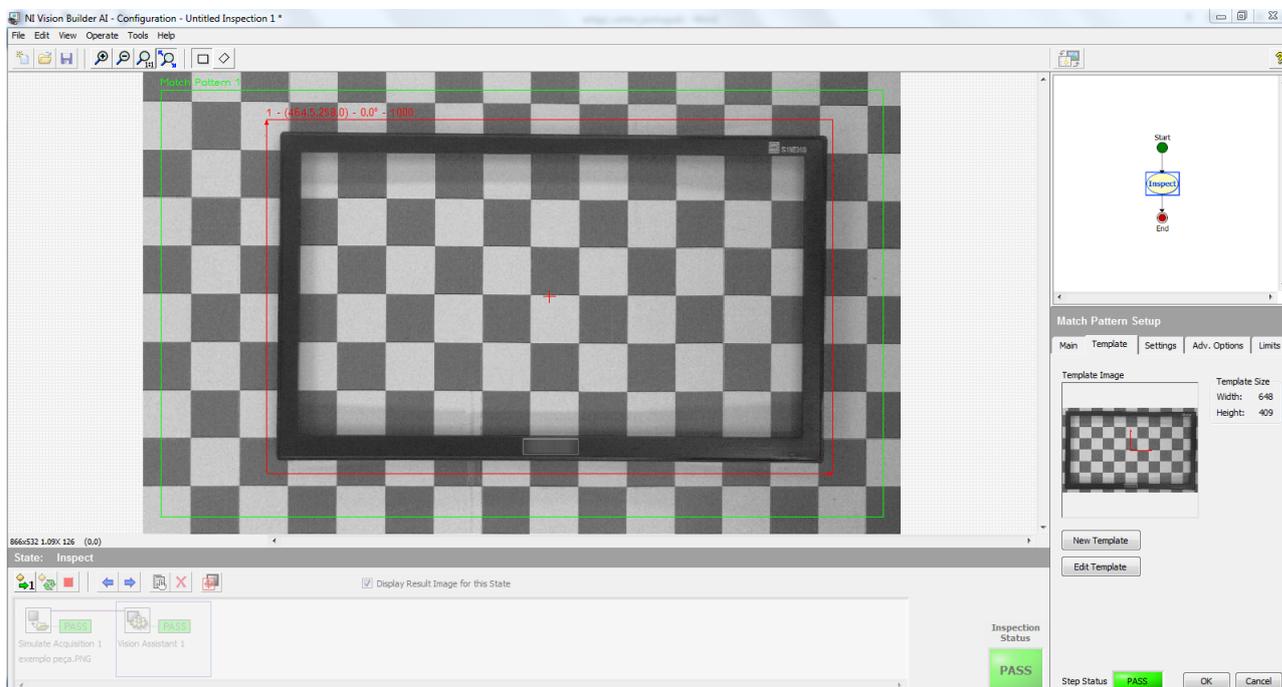
Figura 15 – Step de Reconhecimento



Fonte: AUTOR/VISION BUILDER

Segundo Reisfield, D., Wolfson, H. e Yeshurun, Y. (1995), o reconhecimento de padrões aborda a técnica de extração de características em “objetos” presentes em uma imagem digital. Os objetos, parâmetros de entrada do sistema de reconhecimento, são descritos por agrupamentos de pixels previamente separados do fundo da imagem e serão analisados estatisticamente. Todo objeto dentro de um sistema de reconhecimento é descrito por suas características ou atributos. Estas características são representadas em um espaço N dimensional, sendo N é o número de características. Cada objeto forma assim, um vetor dentro deste espaço de características, chamado de vetor de características.

Figura 16 – Reconhecimento de materiais



Fonte: AUTOR/VISION BUILDER

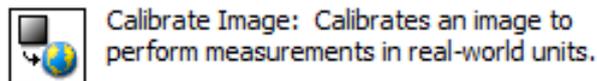
Para a obtenção dos segmentos salientes, o contorno da peça é dividido em segmentos de um comprimento fixo. Faz-se então uma transformação da representação dos contornos das peças, do espaço (x, y) de pixels para mm, através do sistema de calibração do software. Compara-se as imagens com aquelas das peças armazenadas (peças padrão),

sob esta representação, no banco de imagens do sistema. Na representação via contornos, o reconhecimento dará-se quando observa-se uma coincidência dos valores dos atributos globais da peça observada com aqueles de uma dada peça do banco do sistema, peça padrão como citado acima, dentro da faixa de tolerância previamente estabelecida pela especificação geral e padrão de peças. Antes da realização da medição, realiza-se a calibração da imagem, o qual transforma pixels em dimensões reais, o qual será utilizado pela função de medição.

3.5 Calibração de imagens

A calibração é uma etapa essencial para fazer medidas acuradas das estruturas nas imagens. O processo faz uma associação do número de pixels na imagem com medidas reais (p.ex. cm, m), e corrige as distorções causadas pelas lentes objetivas (vide Figura 18).

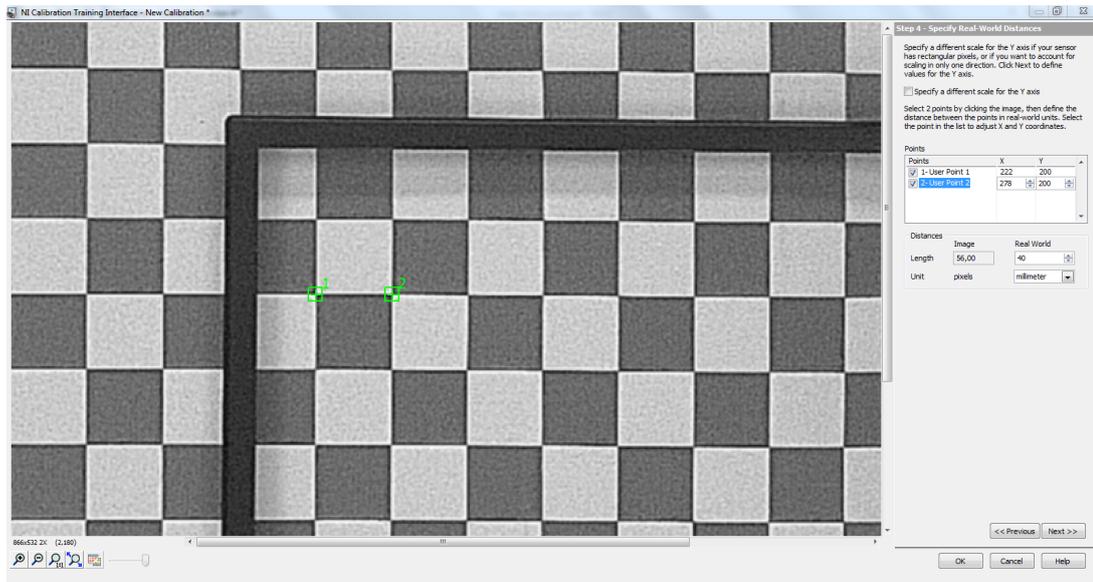
Figura 17 – Step de Calibração



Fonte: AUTOR/VISION BUILDER

O *step* de calibração do *vision builder* (vide Figura 17), utiliza dois pontos da matriz de pontos (x,y) para definir as coordenadas, após isso, realiza-se a conversão do tamanho da imagem, em pixels, para as dimensões reais, tendo como base, o desenho xadrez, em que cada quadrado possui dimensão real de 40x40 mm. Como as lentes objetivas geram uma imagem do tipo côncava, essa tratativa realiza a correção da imagem, transformando-a para uma imagem do tipo planar, a qual será utilizada na próxima etapa.

Figura 18 – Imagem sendo Calibrada



Fonte: AUTOR/VISION BUILDER

3.6 Medição de peças

A função Caliper, é o step que realiza a inspeção do dimensionamento, reiterando que tudo é realizado através de técnicas de comparação no qual é medido pela peça padrão e definido pelo *software* a tolerância de inspeção para cada material (vide Figura 20).

Figura 19 – Step de Medição

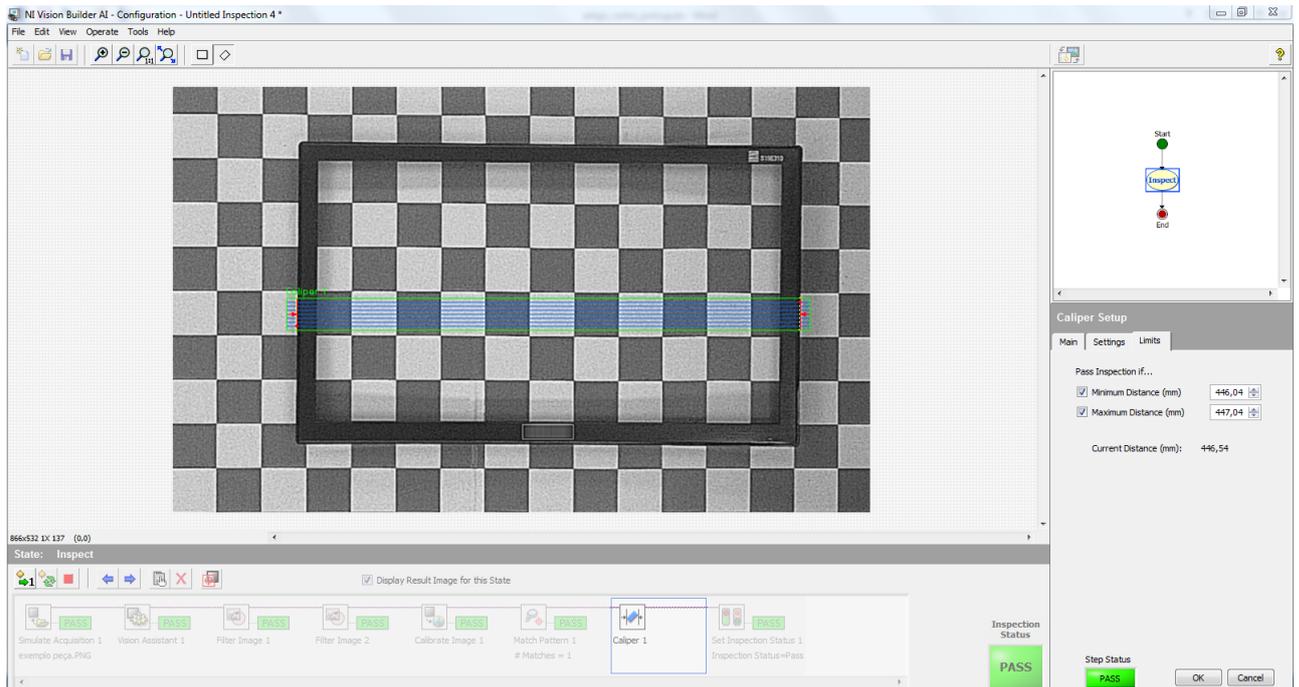


Caliper: Measures the distance separating object edges.

Fonte: AUTOR/VISION BUILDER

O *step caliper* (vide Figura 19), o qual faz a medição das imagens baseadas no padrão aplicando as tolerâncias, utiliza a dimensão do plano de imagem para definir a posição inicial e final, com isso realiza-se o cálculo da distância, assistido pelo passo anterior, o de calibração, para que seja definido e mostrado a distância em dimensões reais, que no caso utiliza-se milímetros. Após isso, aplica-se uma tolerância, a qual é definida pelo usuário do sistema. Essa tolerância baseia a medição definindo os parâmetros de inspeção.

Figura 20 – Medição de peças



Fonte: AUTOR/VISION BUILDER

Em geral o sistema de visão é tipicamente constituído de uma câmara, colorida com 4k de resolução, com uma lente de 5mm para o correto condicionamento da imagem, dando continuidade, será descrito o cálculo de como foi selecionado a melhor lente para casar com as câmeras (vide Figura 21).

Figura 21 – Cálculo das lentes ideais

FOV = 1200 mm x 800 mm
 WD = 1000 mm
 Focal Length = ??
 S = A

$$\text{Focal Length} = \frac{\text{Sensor Size} \times \text{Working distance}}{\text{FOV}} = \frac{7,9 \times 1000}{1400} = 5,64 \text{ mm}$$

Fonte: AUTOR

Sendo:

FOV = Field of View (Campo de Visão)

WD = Working Distance (Distância da câmara até a peça)

FOCAL LENGH = Distância Focal

S = Sensor das Câmeras

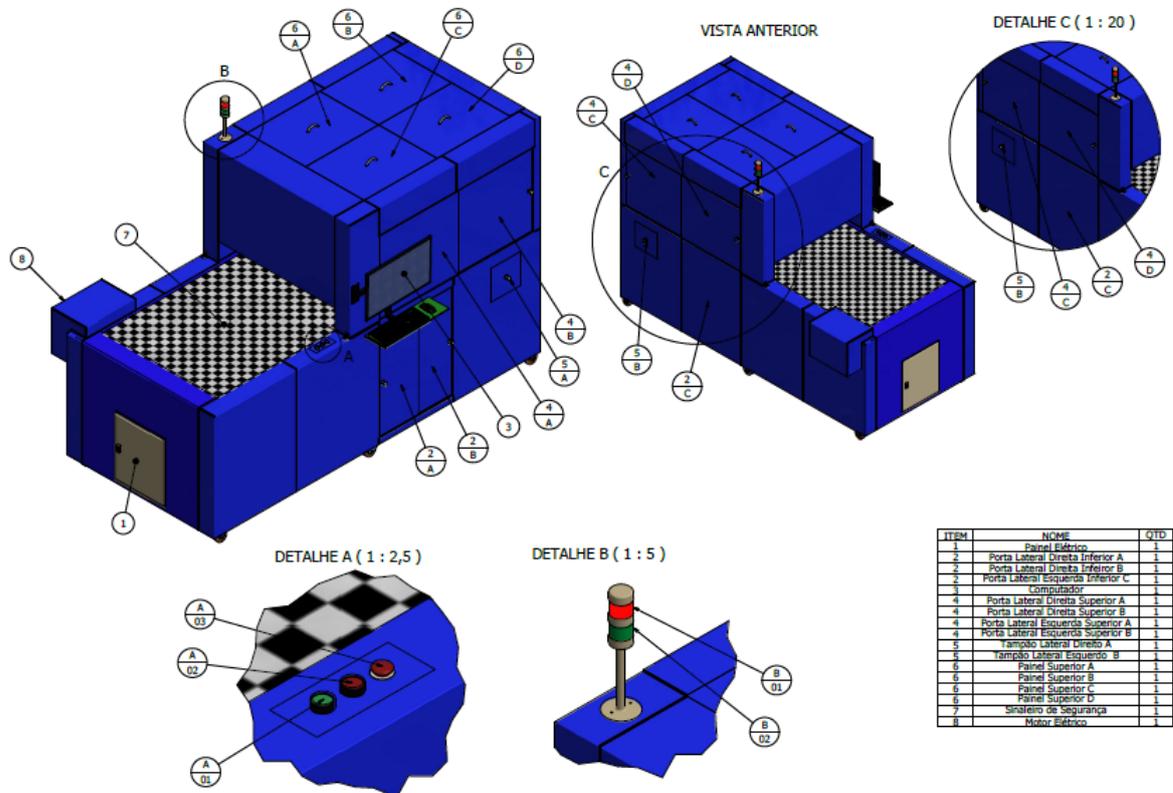
4 HARDWARE

Apresentar-se-á toda composição do Protótipo de Hardware para o sistema de inspeção, o qual foi desenhado na ferramenta *Autodesk INVENTOR*.

4.1 Desenhos mecânicos

Apresentar-se-á alguns dos desenhos mecânicos que compõem o Protótipo.

Figura 22 – Protótipo de Hardware



Fonte: AUTOR/INVENTOR

Esse protótipo (vide Figura 22) foi elaborado para que haja uma interação do *Software* com um *Hardware* totalmente compatível, atendendo às especificações e requisitos do sistema. É composto por uma esteira xadrez que será movimentada por um motor trifásico (vide seção 2.2.4), essa esteira receberá a peça a ser inspecionada e posicionará na cabine totalmente isolada de luminosidade. Essa cabine possui um controle de iluminação próprio (vide seção 2.2.3), pois, não pode haver interferência de luminosidade externa no momento do processamento, isso prejudicaria a inspeção. Ao término, a esteira retorna para sua posição inicial, 8 segundos depois de iniciado o processo.

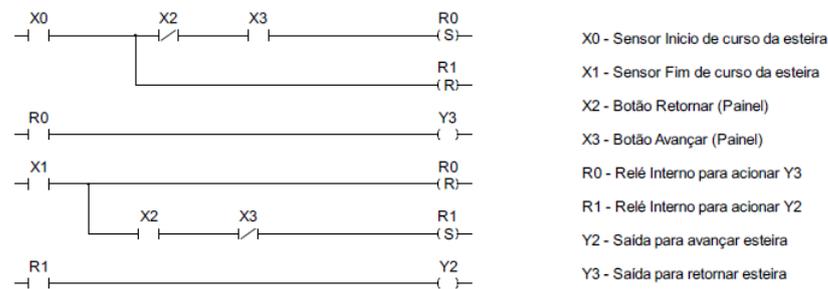
4.2 Esquemas Elétricos

Nas seções seguintes, serão descritos os esquemas elétricos dos equipamentos que deverão ser utilizados para o melhor funcionamento do protótipo.

4.2.1 Controlador Lógico-Programável (CLP)

Programação do Controlador Lógico-Programável (vide Figura 23), o qual controlará a esteira e a porta de abertura do sistema e foi programado em linguagem Ladder.

Figura 23 – Programação Ladder



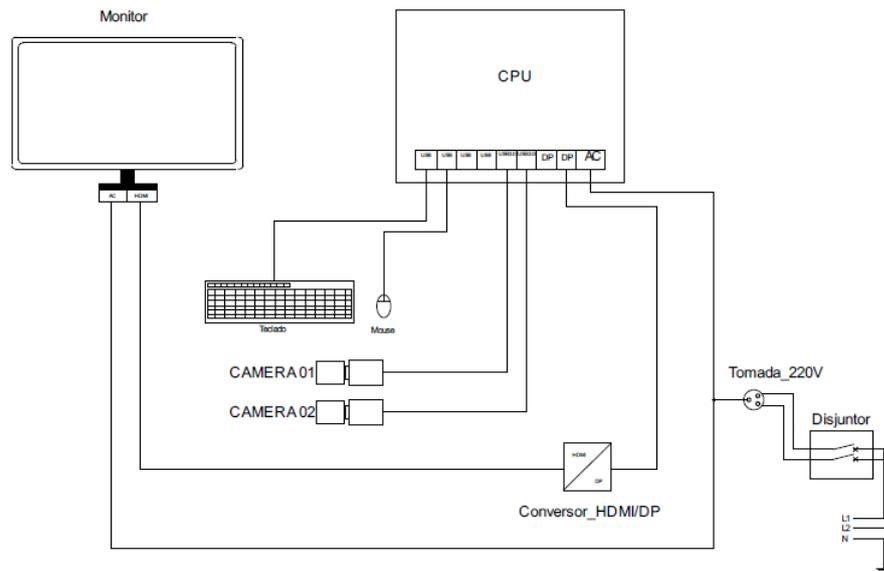
Fonte: AUTOR

4.2.2 CPU

Este circuito está sendo alimentado por meio da energia vindo do disjuntor principal, disponibilizando então às tomadas 220V, a CPU e o monitor são ligados na tomada 220V, o mouse e teclado são plugados nas estradas USB da placa mãe ASUS p8h61 da CPU Thermaltake, as duas câmeras Basler ACA4600-gc utilizam a tecnologia do USB 3.0 para passar dados mais rápido e também para a alimentação das mesmas, para o sinal de vídeo do monitor é usado a conexão de um cabo HDMI até a CPU.

Esquema da ligação da CPU com as câmeras, monitor, teclado e mouse (vide Figura 24).

Figura 24 – Esquema CPU

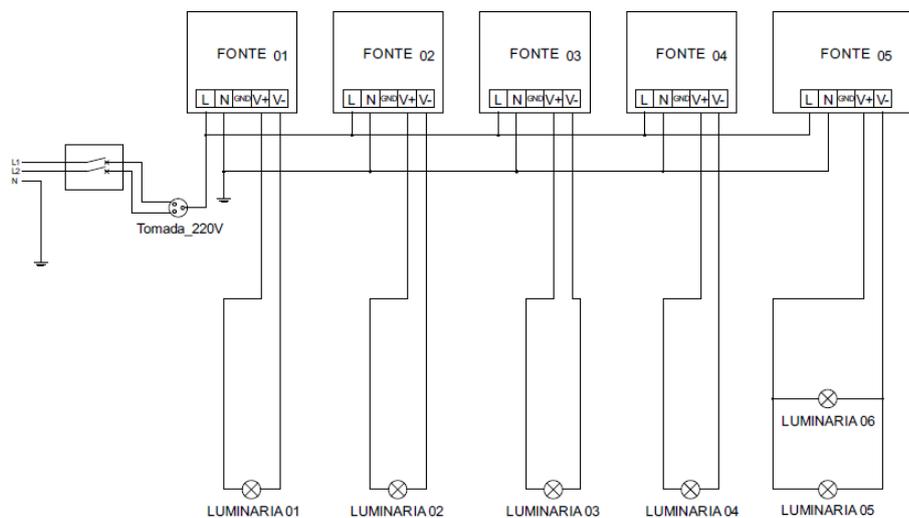


Fonte: AUTOR

4.2.3 Iluminação

Será alimentado por meio do energia vindo do disjuntor principal, disponibilizando então às tomadas 220V, para Luminárias com uma manta para não refletir nas peças, do tipo *FOSCA*, 1, 2, 3 e 4 são alimentadas pelas Fontes *24VDC 4.5A POWER SUPPLY* 1, 2, 3 e 4 respectivamente, e as Luminárias 5 e 6 são alimentadas pela Fonte *24VDC 4.5A POWER SUPPLY* 5 (vide Figura 25).

Figura 25 – Esquema Iluminação

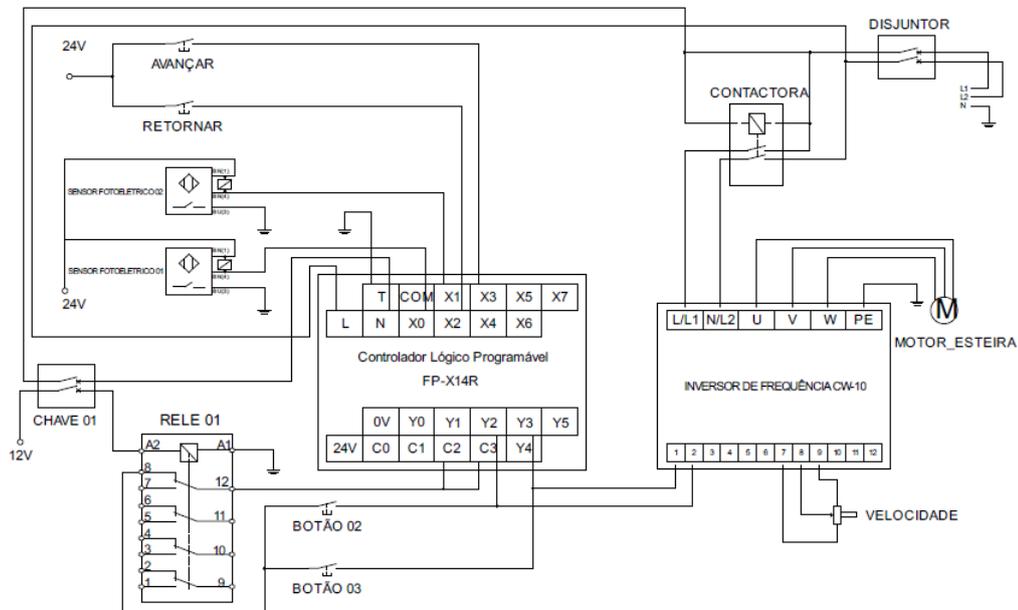


Fonte: AUTOR

4.2.4 Motor Trifásico

Esquema elétrico do funcionamento do motor trifásico *WEG W22 12 polos Síncrono*. (vide Figura 26).

Figura 26 – Esquema Motor Trifásico

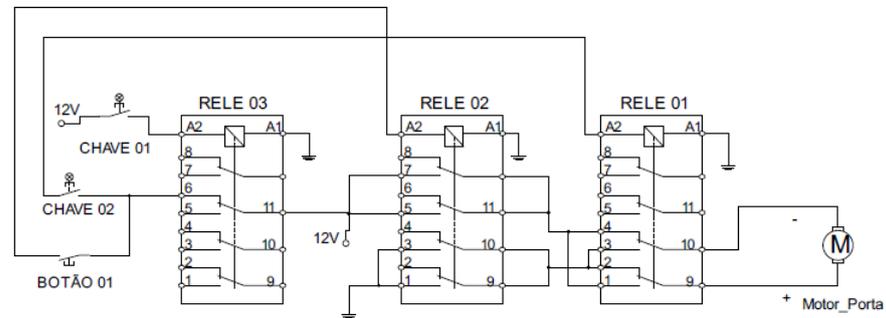


Fonte: AUTOR

4.2.5 Porta de entrada e saída de peças

O circuito funcionará da seguinte maneira, a chave de seleção 1 deve estar na posição 2 indicando então ajuste manual, a chave de seleção 2 na posição 1 ativa o relé para inversão de polaridade do motor fazendo com que o sentido de movimento da porta seja para baixo, a chave de seleção 2 na posição 2 desativa o relé para inversão de polaridade do motor fazendo com que o sentido de movimento da porta seja para cima. Esquema elétrico da porta que controla o fechamento e abertura do sistema, utilizada com o intuito de não haver interferência de iluminação externa na realização das inspeções (vide Figura 27).

Figura 27 – Esquema Porta de Abertura/Fechamento

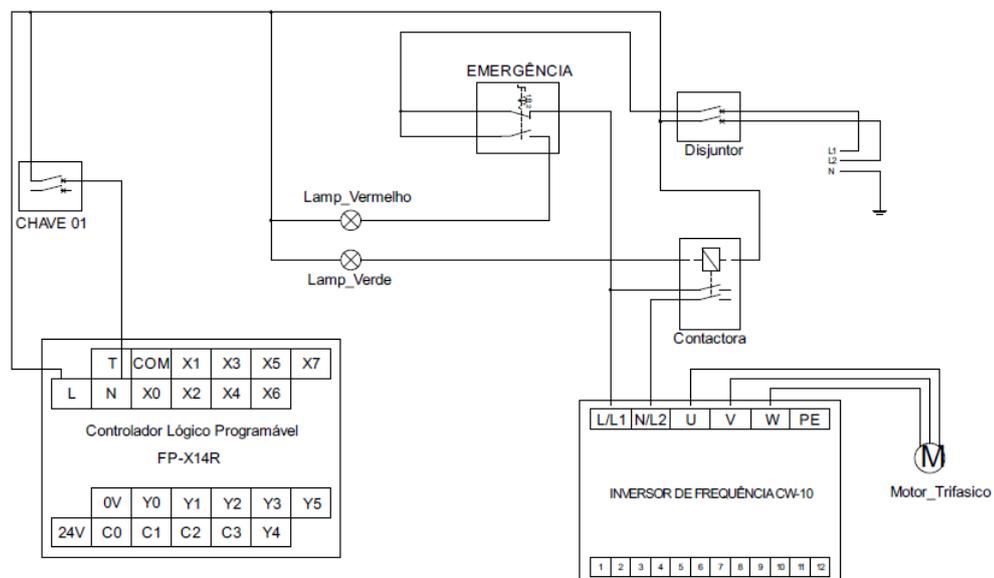


Fonte: AUTOR

4.2.6 Circuito de Segurança

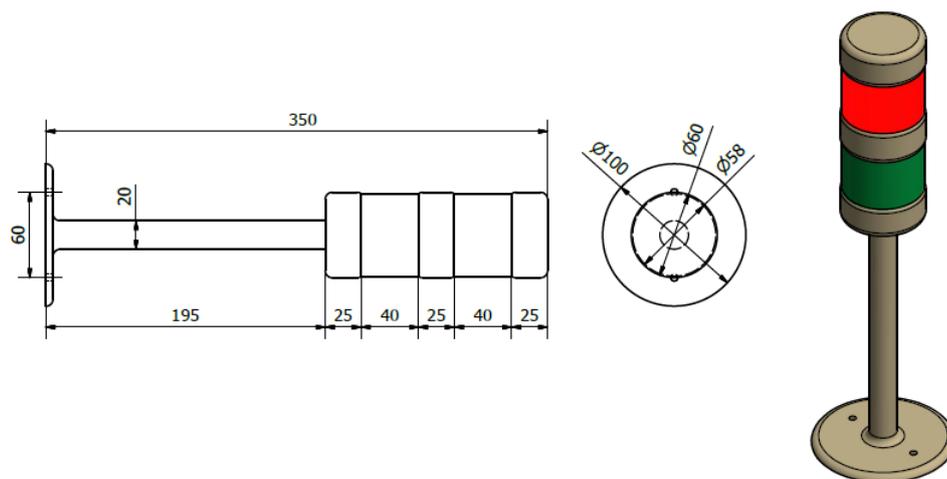
No momento que o disjuntor estiver ligado o sinaleiro estará no estado de cor verde e todos os elementos do circuito estarão alimentados e o processo de inspeção em andamento, no momento que a chave de segurança que está no painel for acionada irá cortar essa alimentação e irá trocar de estado do sinaleiro de verde para vermelho, parando todos os processos em execução (vide Figura 28 e 29).

Figura 28 – Esquema Circuito de Segurança



Fonte: AUTOR

Figura 29 – Desenho Sinaleiro de Segurança



Fonte: AUTOR

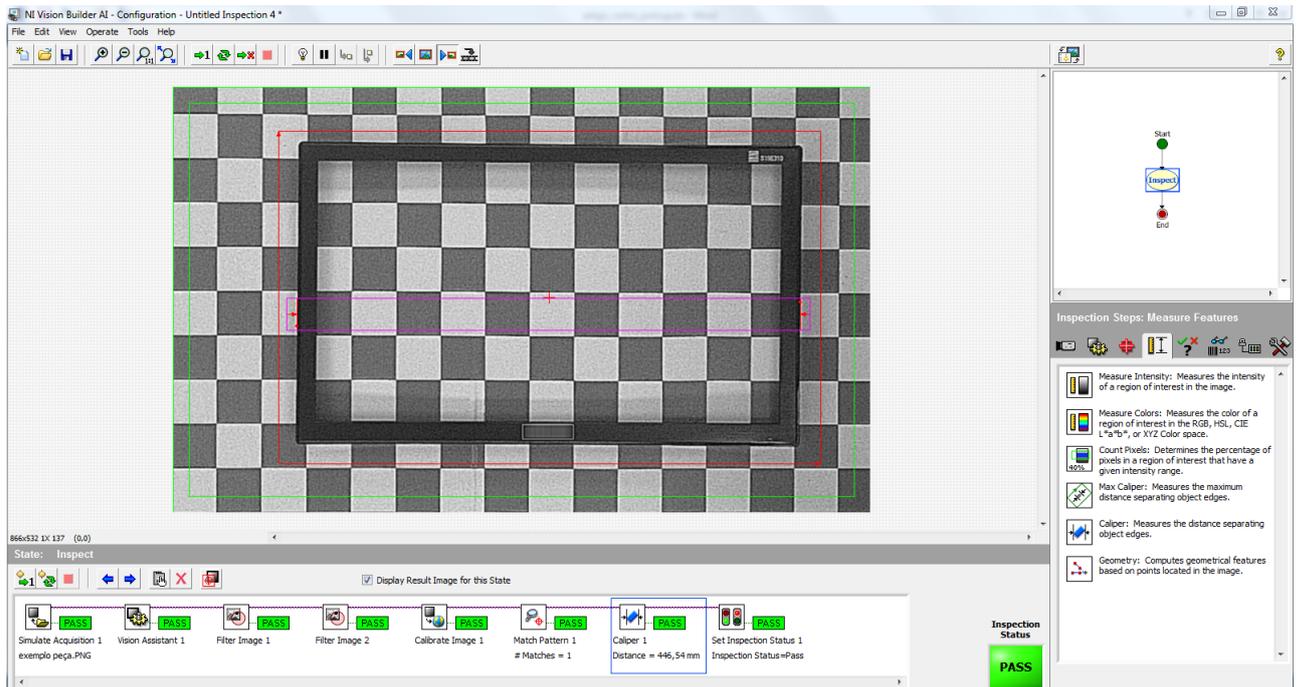
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Fez-se um estudo dos melhores materiais e métodos à serem aplicados, para que haja um alto nível de confiabilidade e funcionamento do sistema. A interface de transmissão/digitalização de imagens, utilizar-se-á transmissão via USB 3.0. Quanto ao processamento, baseou-se em um processador de alta capacidade, i7 Intel de um desktop thermaltake, contendo o software LABVIEW para processar as imagens e detectar as características relevantes através dos tratamentos visuais.

Desenvolveu-se o sistema para ser operado por meio de uma interface computacional com o usuário. O objetivo maior do sistema é a detecção de possíveis falhas nas peças, sendo elas de dimensionamento ou estética. Para isto, no sistema tem-se uma câmera do tipo ACA 4600-gc para aquisição das imagens das peças podendo esta ser colorida ou preto/branco. Para movimentação das peças, utilizou-se uma esteira de cor neutra e desenho xadrez, com a finalidade de obter maior precisão com as peças e para facilitar o processamento e calibração das imagens, tendo uma iluminação que facilite o processamento, fazendo a análise do histograma, juntamente com níveis, e iniciando a extração das características da peça a fim de decidir, por meio do operador do sistema, qual a melhor forma de reconhecimento. O sistema controlará o posicionamento correto (orientação) das peças sobre a esteira, na saída da linha de produção, por meio da zona de captura da câmera. Porém, algumas variações de até 180 graus do posicionamento são totalmente toleradas, desde que a câmera consiga capturar a imagem da peça como um todo.

É de suma importância que os parâmetros de análise (gabarito) devam ser aplicados ao grau de tolerância, o qual deverá ser fornecido ao sistema, entre as peças. Juntamente aos parâmetros, cada peça tem a ela associada uma identificação, que é fornecida pelo usuário na fase de aprendizado. Esta identificação poderá estar associada ao nome da peça gravado em um arquivo. Bem como na fase de inserção de dados para o aprendizado, os modelos (padrões) utilizados na fase de treinamento do sistema são formados utilizando os parâmetros fornecidos inicialmente. Portanto, todo o sistema utilizará um mesmo padrão de parâmetros. Haverá a necessidade de recadastro no sistema quando houver qualquer alteração nos gabaritos das peças a serem inspecionadas, por exemplo, para a inclusão de novas peças no seu banco de peças. A seguir têm-se imagens do resultado final, com um exemplo de peça que foi APROVADA por estar dentro do grau de tolerância inserido pelo colaborador (vide Figura 30) e um exemplo de peça REPROVADA, tendo seu dimensional inferior ao padrão (vide Figura 31), ambas do mesmo modelo, *COVER REAR* de uma TV de 32".

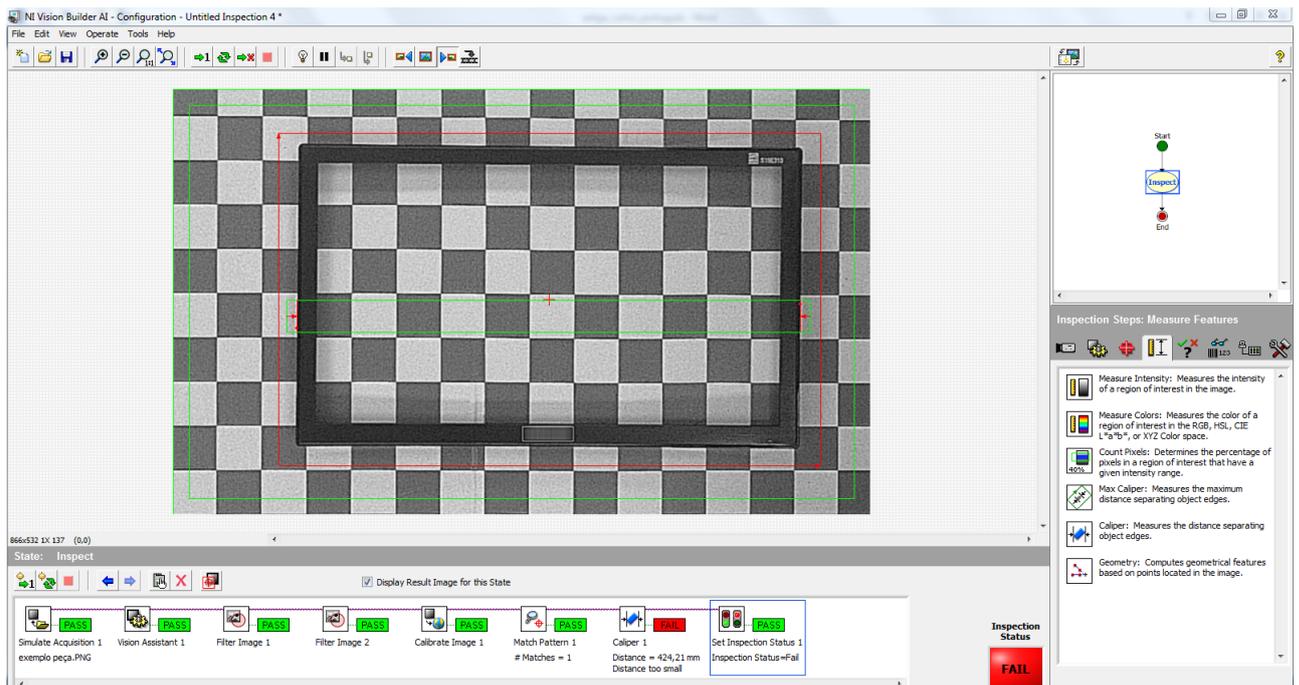
Figura 30 – APROVADA



Fonte: AUTOR/VISION BUILDER

Possuindo todos os passos executados de forma correta como aquisição da imagem, extração do plano de cores, filtragem, calibração, reconhecimento e medição, essa imagem (Figura 30), é um exemplo de interface de interação com o usuário que apresenta o resultado da inspeção, definindo como aprovado (*PASS*) e de cor verde.

Figura 31 – REPROVADA



Fonte: AUTOR/VISION BUILDER

Esse exemplo de material reprovado (Figura 31), obteve esse *status*, pelo fato da mesma estar com um rasgo vertical em sua parte horizontal, com isso ocorre um deslocamento no eixo (x), diminuindo seu dimensional, levando em consideração o padrão. Com isso, a interface de interação define como reprovado (FAIL) a inspeção.

O processo realizado de forma manual tem como *takt time* (*tempo de processo ou cronoanálise*) 12 minutos, aplicando-se a automatização deste processo, o *takt time* passou a ser de 8 segundos. Portanto, obteve-se ganhos significativos, de repetibilidade, eficácia e velocidade de processo, os quais são de fundamental importância em processos de fabricação industriais. Abaixo, segue uma tabela de estatística, oriunda de testes realizados em vários materiais do mesmo modelo:

Tabela 1 – Estatística de Testes Realizados

TIPOS DE RESULTADOS	TV 32"
Positivo	30
Negativo	20
Falso-Positivo	3
Falso-Negativo	2
TOTAL INSPECIONADO	55

Fonte: AUTOR

Os erros falsos justificam-se pelo fato de alguns testes serem realizados em um ambiente não apropriado, com isso, faz-se necessário um ambiente com uma iluminação controlada, de modo a não realçar nas peças, evitando prejudicar a eficácia dos testes de inspeção. Após a realização dos testes em um ambiente controlado, tratando de iluminação, obteve-se resultados satisfatórios. Com isso, definiu-se que as peças que possuírem um tipo de material que reflita a iluminação, no momento da aquisição, receba uma tratativa de filtragem e um controle de iluminação específico.

6 CONCLUSÃO

O objetivo foi o desenvolvimento de um sistema mecatrônico de visão capaz de medir e analisar uma quantidade variada de peças de forma eficaz e veloz, utilizando para isto tanto sua estrutura, como também seus contornos. A escolha da técnica dar-se-á por meio do reconhecimento de padrões, sendo esta metodologia o grande diferencial. O sistema foi inicialmente testado em um banco de imagens sintéticas (simulações), obtidas via *software*, e posteriormente empregado com sucesso na identificação e localização de peças reais a partir de imagens capturadas por uma câmera de vídeo de alta resolução acompanhado por lente de ultra baixa distorção. Tem-se trabalhado para modernizar e ampliar a flexibilidade do sistema com grandes ganhos de performance num ambiente industrial. Obteve-se grande sucesso, tanto na parte de pesquisa quanto no desenvolvimento. O sistema deverá ser implantado no decorrer de suas melhorias e poderá ser aplicado ao setor de qualidade de uma empresa multinacional de grande porte.

7 REFERÊNCIAS

- Abend, K., Harley, T. J. (1965) – Classification of Binary Random Patterns, IEEE Transactions on Information Theory 11(4): 538-544
- Ahmed, N., Natarajan, T. e Rao, K. R. (1974) - Discrete Cosine Transform, IEEE Transactions on Computers C-23(1): 90:93.
- Almeida, L.B. (1994) – The Fractional Fourier Trans-form and Time-Frequency Representation, IEEE Transactions on Signal Processing 42(11): 3084-3091.
- Andrews, H. (1970) - Computer Techniques in Image Processing, Academic Press, Nova York, NY, Estados Unidos.
- Asano, T. (1996) – Digital Halftoning Algorithm Based on Random Space Filling Curve, IEEE International Conference on Image Processing, Vol 1, Lausanne, Suíça, pp. 545-548.
- Baxes, G. A. (1978) - Digital Image Processing: Principles and Applications, Wiley e Sons Inc., Nova York, NY, Estados Unidos.
- Bunke, H. e Sanfeliu, A. (1990) – Syntactic and Structural Pattern Recognition: Theory and Applications.
- Daniel Nehme, Everaldo Luis (2000) – Processamento Digital e suas aplicações.
- Evans, D. M. W. (2004) – A Novel Algorithm for Computing the 1-D Discrete Hartley Transform, IEEE Signal Processing Letters 11(2): 156-159.
- Faugeras, O. e Luong, Q. -T. (2001) – The Geometry o Multiple Image: The Laws that Govern the Formation of Multiple Images of a Scene and some of Their Applications, MIT Press, Cam-bridge, MA, Estados Unidos.
- Galloway, M. M. (1975). Texture Analysis Using Gray Level Run Lengths, Computer Graphics and Image Processing 4: 172-179.
- Holler, W.R. (2013). Proposta de melhoria no processo de desenvolvimento de produtos de uma pequena empresa de base tecnológica.
- <http://www.ni.com/white-paper/7197/pt/> - Melhores práticas de utilização do Labview(Acessado em 03/15)
- <http://www.ni.com/vision/software/vbai/pt/> - Treinamento Vision Builder (Acessado em 02/15)
- <http://www.ni.com/labview/pt/> - Treinamento Labview (Acessado em 02/15)
- Murari, A. et al. Algorithms for the Automatic Identification of MARFEs and UFOs in JET Database of Visible Camera Videos. Plasma Science, IEEE Transactions on, v. 38, n. 12, p. 3409 - 3418, Outubro 2010A. ISSN ISSN:0093-3813.
- Nagel, H. H. (1983). Displacement Vectors Derived from Second Order Intensity Variation in Images Sequences, Computer Vision, Graphics and Image Processing 21 (1): 85-117.

- Noble, A. (1998). Finding Corners, *Image and Vision Computing* 6: 121-128.
- Parker, J. R. (1969). *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*, John Wiley e Sons, Inc., Nova York, NY, Estados Unidos.
- Papoulis, A. (1978). *Systems and Transforms with Applications in Optics*, McGraw-Hill, Nova York, NY, Estados Unidos.
- Reisfield, D., Wolfson, H. e Yeshurun, Y. (1995) – Context-Free Attentional Operators: The Generalized Symmetry Transform, *International Journal of Computer Vision* 14(2) 119-130.
- Souza, M. Paralelismo computacional de processamento digital de imagens aplicado à detecção de MARFes no JET. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (Dissertação de Mestrado). Rio de Janeiro. 2013.
- Tanaka, E. (1995) – Theoretical Aspects of Syntact Pattern Recognition, *Pattern Recognition* 28(7): 1053-1061.
- Umbaugh, S. *Computer Vision and Image Processing: A Practical Approach Using Cviptools*. [S.l.]: [s.n.], 1998.
- Wang, Z., Bovik, A. C. (2005). A Universal Image Quality Index, *IEEE Signal Processing Letters* 9(3): 81-84.
- Winston, P. H. (1975), *The Psychology of Computer Vision*, McGraw-Hill, Nova York, NY, Estados Unidos.
- Zhang, D. e Lu, G. (2002) – A Comparative Study of Fourier Descriptors For Shape Representations and Retrieval, *Proceedings Fifth Asian Conference on Computer Vision*, Melborn, Austrália, pp. 646-651.
- Umbaugh, S. *Computer Vision and Image Processing: A Practical Approach Using Cviptools*. [S.l.]: [s.n.], 1998.