

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Ricardo Dias

**MEDIÇÃO DO NÍVEL DE LÍQUIDO UTILIZANDO
PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM EM
SISTEMAS AUTOMATIZADOS**

Taubaté – SP

2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Ricardo Dias

**MEDIÇÃO DO NÍVEL DE LÍQUIDO UTILIZANDO
PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM EM
SISTEMAS AUTOMATIZADOS**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Automação Industrial e Robótica

Orientador: Prof. Dr. Wendell de Queiróz Lamas

Co-orientador: Prof. Dr. João Sinohara da Silva Sousa

Taubaté – SP

2009

D541p

Dias, Ricardo.

Medição do nível de líquido utilizando processamento digital de imagem em sistemas automatizados./ Ricardo Dias. – Taubaté: Unitau, 2009.

60 f. :il;30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Taubaté. Faculdade de Engenharia Mecânica. Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica.

Orientador: Wendell de Queiróz Lamas

1. Visão Computacional Artificial. 2. Inspeção Visual. 3. Robótica. I. Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica. II. Título.

CDD(21) 621.3104

RICARDO DIAS

**MEDIÇÃO DO NÍVEL DE LÍQUIDO UTILIZANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE
IMAGEM EM SISTEMAS AUTOMATIZADOS**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Automação Industrial e Robótica

Orientador: Prof. Dr. Wendell de Queiróz Lamas

Co-orientador: Prof. Dr. João Sinohara da Silva Sousa

Data: 29 / 08 / 2009

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Wendell de Queiróz Lamas

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Dr. Luiz Octávio Mattos dos Reis

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Dr. Carlos Frajuca

IFSP – São Paulo

Assinatura _____

Dedico este trabalho aos meus pais, Jayme e Leonor (*in memoriam*), por terem me mostrado o melhor caminho, transmitindo entusiasmo e energia para que pudesse ultrapassar as fases difíceis.

A toda minha família,
em especial à minha esposa Aparecida e
aos meus filhos Rafael e Renan.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Wendell de Queiróz Lamas, pela competência, talento e paciência com que orientou meu trabalho.

Ao professor João Sinohara pelo incentivo para recomeçar.

Ao professor Antonio Medina pelo apoio.

Ao Professor Celso Faustino Soto pelo incentivo.

A todos os professores que ministraram aulas à turma 10.

A todos os colegas de turma pela união, incentivo, apoio e amizade.

À empresa Action Motors Indústria e Comercio Ltda. e em particular à Engenheira Francine lamamoto pela cooperação.

À Universidade de Taubaté por ceder os laboratórios e os materiais para os testes.

À secretária da pós-graduação Helena Barros Fiorio, por ter conduzido os andamentos administrativos da minha matrícula.

À bibliotecária Daniela Augusta de Souza Barreto, pela correção das referências bibliográficas e pela ficha catalográfica.

A coisa mais bonita que
podemos experimentar é o mistério.
É a fonte de toda Arte e Ciência verdadeira.
Albert Einstein

DIAS, R. **Medição do nível de líquido utilizando processamento digital de imagem em sistemas automatizados.** 2009. 60f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a implantação de um sistema de visão para a medição do nível de líquido, obtendo a imagem de um frasco e processando-a digitalmente. O sistema trabalha dados para posterior medição do nível de líquido para utilização em sistemas automatizados. Foi desenvolvido um programa em Delphi[®] que controla o movimento do motor de passo que aciona uma esteira e controla a câmera que obtém a imagem a ser verificada. A imagem do frasco é adquirida por uma câmera Creative[®] webcam NX. Aplicou-se a técnica de histogramas para avaliar os níveis de cinza da imagem, o seu brilho e o contraste. Foi elaborado um algoritmo para a binarização (limiar), isto é, converter a imagem em níveis de cinza para imagem monocromática (preta e branca). Para a medição do nível de líquido no frasco é necessária a calibração do frasco em relação a sua posição na cena. Esta calibração é feita com a imagem do frasco proposto. A imagem é copiada do projeto pela câmera, e representa a quantidade ideal de líquido no frasco. Após a calibração, sempre que um frasco passar na frente da webcam, essa o reconhece e verifica a quantidade de líquido contido. O sistema proposto, por meio do programa em Delphi[®], decide a respeito do nível de líquido no frasco e executa a ação de liberá-lo quando o mesmo se encontra com o líquido entre 80% e 100% do frasco calibrado anteriormente, ou executa a ação de devolver quando o frasco contém líquido abaixo de 80% do frasco calibrado anteriormente.

Palavras-chave: Inspeção visual, reconhecimento de padrões por imagens, visão computacional artificial.

DIAS, R. **Measurement of liquid level using image digital processing in automatized systems**. 2009. 60p. MSc. thesis (Master's Degree in Mechanical Engineering) – Department of Mechanical Engineering, University of Taubate, Taubate, Brazil.

ABSTRACT

This work has as objective the implantation of a vision system to acquire an image and to process it digitally. The system works data for posterior verification of liquid level in a bottle. A program was developed in Delphi[®], it controls the movement of the step motor that sets in motion a conveyor and controls the camera that acquire the image to be verified. The bottle image is acquired by a camera Creative webcam NX. We apply the histograms technique to evaluate the ash levels in the image, its brightness and the contrast. We also use an algorithm for the binarization (threshold), what means, to convert the image into ash levels for monochromatic image (black or white). For the liquid level verification in the bottle, it is necessary the calibration of the bottle relative position in the scene. This calibration is made with the image of the considered bottle. This image was acquired by the camera Creative[®] webcam NX, removed of the project and represents the ideal quantity of liquid in the bottle. After the calibration, whenever a bottle passes by the front of the webcam that recognizes it and verifies the amount of liquid contained. The considered system, through the program in Delphi[®], decides regarding the liquid level in the bottle and executes the action of liberating the bottle when the same presents from 80 to 100 % of the liquid in comparison with calibrated bottle, or executes the action to return when the bottle contains an amount of liquid lower than 80% of the previously calibrated bottle.

Keywords: Visual inspection, image pattern recognition, artificial computer vision.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Freqüência x níveis de cinza	26
Figura 2	Diagrama típico de um processo de envasamento de óleo comestível	29
Figura 3	Máquina de envasamento de refrigerante	30
Figura 4	Esteira com garrafas envasadas	30
Figura 5	Funcionária realizando inspeção visual	31
Figura 6	Sistema típico de visão de máquina	32
Figura 7	Fluxograma do sistema de inspeção automática de conteúdo	34
Figura 8	Rotor com engrenagens e ímãs acoplados	38
Figura 9	Estator de um motor de passo	38
Figura 10	Esquema de ligação de motor de passo híbrido	39
Figura 11	Motor de passo híbrido, vista longitudinal	40
Figura 12	Bloco lógico	41
Figura 13	Circuito integrado contador	42
Figura 14	Webcam Creative® NX	43
Figura 15	Página do programa em Delphi® 2005	45
Figura 16	Tela inicial, aba principal	46
Figura 17	Grid 10 x 10	47
Figura 18	Automatizando o sistema	47
Figura 19	Aba gravar	48
Figura 20	Aba sistema	49
Figura 21	Aba processando vídeo	49
Figura 22	Vista frontal do sistema de visão	50
Figura 23	Vista superior do sistema de visão	51
Figura 24	Vista da webcam acoplada ao sistema de visão	51
Figura 25	Vista da esteira e dos frascos	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Seqüência de fases	39
Tabela 2	Passo usual – rotação no sentido horário	41

SUMÁRIO

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	13
1.1 Introdução	13
1.2 Revisão da Literatura	14
1.3 Objetivo	16
1.4 Metodologia	16
2 PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS	18
2.1 Processamento de Imagens Digitais	18
2.2 Definição de Imagem	19
2.3 Digitalização e Aquisição da Imagem	19
2.4 Fundamentos da Compressão de Imagens	20
2.4.1 Compressão de dados sem perda	22
2.4.2 Padrão de compressão de imagem	24
2.4.2.1 Padrão de compressão para imagem de tons contínuos – JPEG	24
2.4.2.2. Padrão de compressão de imagem – GIF	25
2.4.3 Realce de contraste	25
2.4.3.1. Histograma	26
2.5 Limiarização	27
2.5.1 Tipos de limiarização	28
3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO	29
3.1 O PROCESSO DE ENVASAMENTO	29
3.2 O PROBLEMA	31
3.3 SOLUÇÃO PROPOSTA	31
3.3.1 Prejuízos do processo sem o sistema proposto	32
3.3.2 Equipamentos a serem adquiridos	33
3.3.3 Investimento necessário	33
3.3.4 Fluxograma do sistema	34
3.3.5 Programação em Delphi®	34
4 DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO	36
4.1 Equipamentos Utilizados no Protótipo	36
4.2 Motor de Passo	36
4.2.1 Princípio de funcionamento	37

4.2.2 Tipos de motor de passo	38
4.2.3 Controle lógico do motor de passo	40
4.3 Webcam	42
4.4 Esteira	43
4.5 Programa em Delphi®	44
4.5.1 Aplicação do programa em Delphi®	45
5 APLICAÇÃO DO SISTEMA DE VISÃO	50
5.1 Distribuição Física do Sistema de Visão	50
5.2 Resultados Obtidos	52
6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	54
6.1 Conclusões	54
6.2. Sugestões de Trabalhos Futuros	54
REFERÊNCIAS	56

CAPÍTULO 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1. INTRODUÇÃO

A análise e o processamento digital de imagens vêm sendo empregado em diversas áreas do conhecimento humano. Na área médica, por exemplo, as imagens são utilizadas para diagnosticar patologias. No domínio geoespacial, elas são utilizadas para visualizar o estado climático de uma região ou até mesmo para registrar o relevo de outros planetas. No campo comercial, as imagens estão cada vez mais presentes no cotidiano das pessoas por meio das câmeras digitais e dos digitalizadores (*scanners*), cada vez mais portáteis. No meio industrial, as imagens têm sido associadas principalmente à inspeção visual no controle da qualidade dos sistemas produtivos (PINTO, 2008).

Por exemplo, uma régua digitalizadora que busca imperfeições em uma tira de papel que está prestes a ser bobinada no estágio final de uma máquina produtora de papel, onde os pontos críticos são mapeados por meio de um sistema de coordenadas cartesianas, cuja origem é a própria origem da tira de papel (LAMAS, 2004).

Outro exemplo bastante presente no cotidiano das pessoas é a identificação de placas de veículos automotores, que é realizada em estacionamentos, praças de pedágios e por alguns tipos de radares fixos e móveis, onde a imagem adquirida é comparada em frações de milissegundo com os registros armazenados em um banco de dados e imagens de referência (ALMEIDA, 1998) (OLIVEIRA; FONSECA, 2005).

Mais uma aplicação que vem do chão-de-fábrica: a utilização de câmeras no controle da eficiência na embalagem de medicamentos, identificando, por exemplo, o posicionamento de cápsulas em uma cartela pela disposição de cores, segundo um padrão pré-estabelecido (OLIVEIRA et al., 2004) (NATIONAL INSTRUMENTS, 2009). Essa técnica de identificação também pode ser utilizada em montadoras de circuitos eletro-eletrônicos (montagem e soldagem de placas de circuito impresso) e no envasamento de recipientes com líquidos (garrafas, garrafões etc.), foco principal deste trabalho.

Nos diversos cenários que são possíveis de se configurar para aplicação de inspeção visual há, também, a possibilidade de estar substituindo a presença de seres humanos que ficam posicionados ou à frente de monitores ou dos processos propriamente ditos, às vezes em posições não muito confortáveis (FACCHINI et al., 1997).

As imagens digitais normalmente são dependentes de um programa aplicativo (*software*) que gerencie todo o seu processamento e análise. Os aplicativos existentes para computação científica envolvendo imagens geralmente são concebidos para funcionarem sob uma única plataforma de sistema operacional, além de não serem de domínio público, ou seja, são proprietários. Para esta dissertação foi desenvolvido um programa em Delphi® para realizar o processamento e análise de imagens que têm características funcionais, cuja implementação é baseada em padrões do projeto.

Este trabalho tem como objetivo o processamento de imagem para aplicação em automação industrial. Espera-se como resultado poder acrescentar uma maneira de ponderar a quantidade de líquido em um frasco, por meio da imagem processada por um programa desenvolvido em Delphi®.

1.2. REVISÃO DA LITERATURA

O processamento de imagens digitais possui grande aplicação em áreas extremamente variadas. É possível citar autores que utilizam processamento de imagens em áreas como medicina, petróleo, robótica, geografia, automação de processos etc.

Facchini et al. (1997) estudaram os impactos sobre a saúde dos trabalhadores de uma indústria de alimentação, caracterizando os riscos inerentes ao processo produtivo da mesma. A metodologia adotada proporcionou identificar dois grandes grupos de riscos: riscos relacionados ao ambiente de trabalho e riscos relacionados à atividade específica de cada setor.

Almeida (1998) destaca que o gerenciamento de imagens e informações foi ampliado na década de 80 com o advento do sistema de arquivamento e

comunicação de imagens. Esse sistema permite armazenar e recuperar imagens através de uma rede de computadores. O sistema é composto pelo computador, *scanner* para filmes e um equipamento que disponibiliza, manipula e permite a leitura de discos, chamado *Jukebox*. Esse equipamento tem capacidade de armazenar aproximadamente 100 discos. Esses discos ópticos armazenam cerca de 2,5 gigabytes de informação.

Marques Filho e Vieira Neto (1999) apresentaram os conceitos fundamentais sobre o processamento de imagens digitais.

Albuquerque (2000) relacionou as principais características das metodologias envolvidas no processamento de imagens digitais, assim como os métodos de análise dos dados obtidos na sua captura.

Lamas (2004) discutiu a otimização de uma máquina de revestimento de papéis especiais, onde, segundo suas propostas de melhoria para o sistema, imagens digitais adquiridas através de CCDs e de digitalizadores (*scanners*) em pontos específicos do processo auxiliam no controle de qualidade do papel produzido e revestido.

Oliveira et al. (2004) propõe um sistema de visão a ser aplicado em células flexíveis de manufatura, para classificar objetos. Utilizou-se rede neural com o software MATLAB, buscando a inspeção dos objetos classificando-os através da análise computadorizada.

Oliveira e Fonseca (2005) analisam a aplicação de sistemas inteligentes no controle de tráfego urbano. Ao mencionar as características fundamentais desse controle, relacionaram características básicas de sistemas de processamento de imagens adotados no processo em estudo e em similares.

Brandstetter e Bucar (2008) apresentam uma metodologia de análise de processo produtivo baseado em envasamento de líquidos com fundamentação em pesquisa operacional. Listaram, também, informações a respeito de perdas no processo de envasamento.

Pinto (2008) discute as alternativas para um programa de manutenção preditiva para máquinas de navios e plataformas de petróleo, utilizando técnicas como a análise de óleo lubrificante, análise de vibração e monitoramento de parâmetros operacionais como pressão, temperatura etc. Para a análise de vibração foi estudado um turbo - compressor de uma plataforma fixa com um acelerômetro fixado em um ponto rígido. Contem nessa

turbina um gerador de gás e uma turbina de potência propriamente dita. Com o uso do LabVIEW[®], pode-se analisar o diagrama em cascata dos sinais de vibração.

Ross e Megiolaro (2008) patentearam um dispositivo móvel para envasamento de líquidos. Tal equipamento mantém as características dos similares fixos, apenas destacando seu menor dimensionamento para possibilitar o traslado da máquina.

National Instruments (2009) apresenta o potencial de várias aplicações para seu sistema de visão de máquina (IMAQ Vision). Dentre os estudos de caso de maior sucesso estão a indústria farmacêutica, as imagens médicas, aplicações que envolvam soldagem e inspeção visual de placas de circuito impressos e tubulações, a indústria alimentícia, entre inúmeras outras.

Vivaldini (2009) descreve as principais características funcionais dos motores de passo, assim como circuitos de controle e aspectos da programação utilizada para acionamento desse tipo de motores.

1.3. OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo a medição do nível de líquido em um frasco no processo de envasamento de líquidos, sendo utilizado o processamento digital de imagens, por meio do ambiente computacional desenvolvido em Delphi[®], como suporte ao controle desta propriedade no processo, indicando os frascos que tenham volume inferior a 80% do máximo estabelecido, para que sejam retiradas do lote. Esse valor de porcentagem é elaborado para fins didáticos na aplicação do trabalho proposto.

1.4. METODOLOGIA

Na elaboração deste trabalho foram realizados os seguintes procedimentos:

1. Identificação dos componentes do sistema;
2. Levantamento das perdas no processo sem o sistema proposto (quantidade de frascos por lote);
3. Relação de equipamentos a serem adquiridos para realizar o projeto (caso não sejam adquiridos novos equipamentos, destacar quais os equipamentos atuais que serão utilizados);
4. Relacionar o investimento necessário para a automatização do sistema, incluindo o treinamento;
5. Elaborar o algoritmo (fluxograma) do processo (por exemplo: garrafa segue pela esteira¹; no ponto 1, a imagem é adquirida; imagem comparada ao padrão; se o volume está entre 80 e 100%, continua na esteira; se volume menor que 80%, garrafa sai do lote);
6. A partir do fluxograma elaborado, desenvolver a programação em Delphi[®];
7. Realizar testes com o protótipo;
8. Validar o sistema.

CAPÍTULO 2 PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS

2.1. PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS

Um computador não pode guardar em sua memória ou modificar em seus circuitos qualquer imagem na forma analógica, porque o computador trabalha com números discretos, não podendo representar diretamente tons de cinza ou cores contínuas. Para que o computador possa operar com imagens, elas precisam primeiro ser convertidas para números, ou seja, notação binária. Em uma imagem as variações nas áreas claras e escuras são codificadas como um conjunto de números. As imagens digitais são compostas por pixels (*picture elements*) e a quantidade de bits utilizada por pixel depende basicamente da profundidade de cores da imagem (MARQUES FILHO, 1999).

Quando a imagem utiliza o espaço vetorial RGB (*red, green, blue*), a representação utilizada é a de 8 bits para cada canal de informação, fazendo um total de 24 bits por pixel. Com isso é possível gerar mais de 16 milhões de cores diferentes. Para imagens em tons de cinza é comum utilizar 8 bits para cada pixel, totalizando 256 níveis de cinza. Imagens binárias necessitam apenas de um bit por pixel, totalizando duas cores (MARQUES FILHO, 1999).

Neste trabalho usamos um conversor de 8 bits que pode assumir valores de 0 (zero) a 255, assim sendo podemos ter 256 combinações diferentes. Em uma imagem, na sua área escura damos o valor de 0 (zero), enquanto que na área clara, atribuímos o valor mais alto, 255. Aos níveis intermediários atribuímos algum valor entre 0 e 255.

Para fazer essa conversão de imagem em números, a imagem é subdividida em uma grade, contendo milhões de quadrados de igual tamanho, sendo cada um deles associado a um valor numérico da intensidade do tom de cinza naquele ponto. A essa grade de quadrados chamaremos de “imagem matriz”, e cada quadrado na imagem é chamado de “pixel” (abreviação do inglês *picture x element*). Cada pixel carrega a informação sobre o nível de cinza que ele representa, sendo que este nível de cinza é análogo a alguma propriedade do corpo na imagem que nos

interessa, ou seja, a grandeza física que eles representam (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

2.2. DEFINIÇÃO DE IMAGEM

Uma imagem pode ser definida pela função de intensidade luminosa bidimensional, $f(x, y)$, em que a amplitude de f nas coordenadas espaciais (x, y) dá a intensidade (brilho) naquele ponto. Uma imagem, que é visualizada pela luz refletida dos objetos, pode ser caracterizada pela quantidade de luz incidindo na cena e pela quantidade de luz refletida pela cena. Esses valores são chamados de iluminação e refletância, sendo identificados por $i(x, y)$ e $r(x, y)$ respectivamente. Temos então que $f(x, y) = i(x, y) r(x, y)$ (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

Alguns limites físicos devem ser observados para essas funções:

$0 < f(x, y) < \text{infinito}$ – luz é uma forma de energia, deve ser positiva e finita;

$0 < i(x, y) < \text{infinito}$ – muda conforme a natureza da fonte de luz;

$0 < r(x, y) < 1$ – limite entre 0 (absorção total) e 1 (refletância total).

Em um dia de sol claro podemos ter até 9000 lux de iluminação, enquanto que uma noite clara com lua, teríamos 0,01 lux de iluminação. A refletância gerada pelo veludo negro esta por volta de 0,01%, enquanto que a neve gera 0,93% de refletância (ALBUQUERQUE, 2000).

A intensidade f nas coordenadas (x, y) para imagens monocromáticas, chamamos de níveis de cinza (l), que é restrito ao intervalo $L_{\min} \leq l \leq L_{\max}$, no qual $L_{\min} = i_{\min} r_{\min}$ e $L_{\max} = i_{\max} r_{\max}$. O intervalo $[L_{\min}, L_{\max}]$ é denominado escala de cinza, deslocando esse intervalo para $[0, L]$, onde $l = 0$ será considerado negro e $l = L$ será considerado branco, teremos os valores intermediários como tons de cinza, variando continuamente entre o negro e o branco (ALBUQUERQUE, 2000).

2.3. DIGITALIZAÇÃO E AQUISIÇÃO DA IMAGEM

No processamento de imagens digitais a obtenção da imagem é o método de transformar uma cena real tridimensional em uma imagem analógica bidimensional. Quando temos um sinal analógico na saída de um dispositivo de aquisição, devemos submeter este sinal a uma transformação dos dados analógicos em grandezas no sistema binário, tanto no espaço quanto na amplitude, para convertê-lo no formato pretendido pelo processamento computacional (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000) (OLIVEIRA et al., 2004).

Esta transformação, também chamada de digitalização, quando feita no espaço é chamada amostragem da imagem e na amplitude é chamada quantização em níveis de cinza. Uma imagem $f(x, y)$ pode ser descrita como amostras igualmente espaçadas, arranjadas em forma matricial ($n \times m$), em que cada elemento é quantizado discretamente (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000) (OLIVEIRA et al., 2004).

No processo de digitalização estão relacionadas decisões a respeito dos valores das dimensões da imagem ($n \times m$) e dos números de níveis de cinza (g) permitidas para cada pixel. Normalmente estas quantidades são expressas em potencia inteira de 2, para processamento de imagens digitais: $n = 2^n$, $m = 2^k$, $g = 2^m$.

O numero de bits (b) necessários para armazenar uma imagem de 128×128 pixels com 64 (2^6) níveis de cinza, são necessários: $128 \times 128 \times 6 = 98.304$ bits para armazenamento (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000) (OLIVEIRA et al., 2004).

Levando se em conta o custo para armazenamento e processamento, temos que definir quantas amostras e níveis de cinza são necessários para uma boa aproximação, visto que trabalharemos com a discretização de uma imagem continua. Porem é difícil definir o que seja uma boa imagem, não somente por ser um critério altamente subjetivo, como também depende dos requisitos de uma determinada aplicação (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000) (OLIVEIRA et al., 2004).

2.4. FUNDAMENTOS DA COMPRESSÃO DE IMAGENS

O termo compressão de imagens refere-se ao processo de redução do volume de dados necessários para representar certa quantidade de informação e apresenta dois fatores de extrema importância: a taxa de compressão e a velocidade de processamento (ALBUQUERQUE, 2000).

A compressão de dados é composta de duas etapas: modelagem e codificação. A etapa de modelagem dos dados de entrada é responsável pela decisão de qual código representará a informação, ou seja, é um conjunto de regras usadas para processar os dados de entrada e determinar qual código os representará. A codificação é um conjunto de símbolos que representa a informação ou os dados de entrada (ALBUQUERQUE, 2000).

Os métodos de compressão de imagens dividem-se em dois grupos: sem perdas ou reversíveis e com perdas ou irreversíveis. Os algoritmos sem perdas eliminam somente as informações redundantes, possibilitando, assim a reconstrução total da imagem original após o processo de descompressão. Os algoritmos de compressão com perdas eliminam além das informações supérfluas, as informações que não tem importância, possibilitando a reconstrução aproximada da imagem original, após o processo de descompressão. Uma imagem em tons de cinza, sofrendo uma compressão sem perdas, obtém taxa de compressão da ordem de 50%, possibilitando reaver a imagem original a partir da versão comprimida (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

Na compressão de imagens, podemos identificar e usar três tipos de redundância: de código, interpixel e psicovisual. Na redundância ou excesso de código, o processo de codificação atribui à informação, códigos com número de bits variáveis de acordo com a probabilidade de ocorrência de determinada tonalidade de cinza ou cor do pixel na cena, ou seja, o nível de cinza ou cor com maior ocorrência será representado por uma palavra código de comprimento menor, ao contrário, se um nível de cinza ou cor tem pouca presença na cena, este valor é representado por uma palavra código maior (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

Ao designar menos bits aos níveis de cinza mais prováveis e mais bits aos menos prováveis, pode-se conseguir a compressão de dados. A este processo

denomina-se codificação de comprimento variável. Se os níveis de cinza de uma imagem estão codificados de forma que se empregam mais símbolos que os estritamente necessários para representar cada um deles, então se diz que as imagens resultantes contêm redundância de códigos. Em geral a redundância de códigos aparece quando os códigos associados a um conjunto de níveis de cinza não são selecionados de modo que se obtenha o maior rendimento possível das probabilidades destes níveis (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

A redundância ou excesso interpixel nos permite prever o valor de um pixel pelos valores de seus pixels vizinhos. Esta relação espacial está ligada ao relacionamento geométrico entre os objetos na imagem. A maior parte da contribuição visual de um único pixel a uma imagem é redundante, poderia ter sido deduzido de acordo com os valores de seus vizinhos. Com relação a estas dependências entre pixels tem se gerado uma serie de nomes como redundância espacial, redundância geométrica e redundância interna (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

Ao contrario da redundância de codificação e a redundância entre pixels, a redundância psicovisual está associada à informação visual real ou quantificavel. Sua eliminação é unicamente possível porque a própria informação não é essencial para o processamento visual normal. Como a eliminação dos dados psicovisualmente redundantes se traduz em uma perda de informação quantitativa, usualmente denominamos quantificação. Portanto quantificação significa que a uma ampla faixa de atuação de valores de entrada correspondem a um numero limitado de valores de saída. A quantificação conduz a uma compressão com perda de dados, pois perdemos informação visual, posto que a operação de quantificação seja irreversível (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

2.4.1. Compressão de dados sem perda

Este método de compressão de dados permite a recuperação exata dos dados originais após o processo de descompressão. Algumas aplicações exigem que o processo de compressão e descompressão seja livre de perdas de

informação, como: imagem medica digitais, transmissão de textos, transmissão de documentos por fac-símile, programas executáveis, banco de dados, etc. Em imagens medicas se há perdas de informação após a descompressão, há comprometimento na precisão do diagnostico, no caso de documentos, a exigência é de caráter legal (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

Os algoritmos de compressão de dados sem perdas são divididos, basicamente em duas categorias: os métodos baseados em dicionário ou universal e os métodos estatísticos. O método baseado em dicionário ou universal, parte da idéia de se manter um dicionário contendo as informações sobre as frases e ou seqüências de símbolos que estão no arquivo original. O arquivo codificado consiste então de uma seqüência de índices para este dicionário (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

Os algoritmos de compactação baseada em dicionário consistem em uma janela que desliza sobre a seqüência a ser codificada. Esta janela exhibe duas partes, a primeira contem os últimos símbolos que foram codificados e a segunda os próximos símbolos a serem codificados que também é chamada de área de previsão (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

Normalmente os dicionários contem alguns milhares de palavras e a área de previsão algumas dezenas. Cada símbolo do arquivo compactado é constituído de um termo (i, n, p) , onde i é a posição do dicionário, n é o tamanho em símbolos e p é o próximo símbolo da área de previsão após a frase. Os índices não necessariamente são representados no arquivo por bytes. Esta representação depende do tamanho da janela utilizada. As implementações praticas, costumam fixar o tamanho do dicionário e da área de previsão em 4k e 16 bytes, respectivamente (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

O algoritmo de compactação baseado no método estatístico utiliza códigos de comprimentos variáveis. Os dados na informação original que aparecem com maior freqüência são representados por palavras-codigo menores, enquanto que os dados de menor incidência são representados por palavras-codigo maiores (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

A adoção de padrões está relacionada com a necessidade de operacionalizar os equipamentos dos diversos fabricantes. Os padrões de compressão para imagens binárias, em tons de cinza ou colorida, estática ou dinâmica, foram desenvolvidos e sancionados pela International Standards Organization (ISSO) e o

Comite Consultatif International des Téléphonique et Télégraphique (CCITT) atualmente denominado International Telecommunication Union (ITU-T).

2.4.2. Padrão de compressão de imagem

2.4.2.1. Padrão de compressão para imagem de tons contínuos – JPEG

JPEG é um acrônimo de joint photographic experts group, que é o nome original do comitê que escreveu o padrão. Este padrão é a junção de esforços de três das maiores organizações de padronização do mundo: ISO, CCITT e IEC (International Electrotechnical Commission).

O padrão JPEG foi desenvolvido no final da década de 70, início da década de 80, para comprimir imagens paradas, fotografias, em tons contínuos de cinza ou de cor, de cenas do mundo real e imagens naturais, não tendo um bom desempenho em imagens que apresentem descontinuidade nas cores ou nos tons de cinza. O padrão jpeg apresenta quatro modos de operação: jpeg com perdas, jpeg sem perdas, modo progressivo e modo hierárquico (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

O padrão jpeg com perdas é o normalmente usado quando há referencia ao padrão jpeg. O grau de qualidade e velocidade de descompressão pode ser variável de acordo com os parâmetros da compressão; significa dizer que a dimensão do arquivo da imagem em processamento pode ser ajustada de acordo com a característica final da imagem pretendida. Para imagens coloridas este padrão alcança taxas de compressão da ordem de 10:1 e 20:1 sem perdas visíveis e 30:1 e 50:1 com pequenos defeitos na imagem. Para imagens em tons de cinza, sem perdas visíveis, temos valores de compressão de 5:1, pois no olho humano a sensibilidade à variação do brilho é maior que a variação de tonalidade (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

O padrão jpeg sem perdas utiliza a codificação preditiva, ou seja, elimina a redundância interpixel presente na informação original, codificando somente a

diferença ou o resíduo entre o valor do pixel original e o valor predito para este pixel (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

2.4.2.2. Padrão de compressão de imagem – GIF

O formato gif, foi desenvolvido em 1987 com o objetivo de fornecer uma alta resolução a imagens na internet. A necessidade se deve as baixas taxas de transmissão da rede naquela época. Um grupo de pessoas da empresa compuserve desenvolveu um esquema de compressão de mapas de bits para diminuir o tamanho das imagens a serem mandadas na rede e o tempo de espera para que os arquivos baixem. O formato gif, é sem perdas e utiliza o algoritmo proprietário lzvv, com índice variável para a codificação e decodificação do mapa de bits. O arquivo gif consiste de duas partes, um cabeçalho com informações sobre a imagem e o conjunto de dados codificados. Quando uma imagem vai ser mostrada, o cabeçalho é lido e o algoritmo é aplicado para decodificar a imagem e apresentá-la. As imagens no formato gif são muito usadas na rede de internet, principalmente devido ao seu pequeno tamanho. Representam botões, ícones e imagens simples colocadas nas paginas, sendo seu principal defeito, ter sido projetada para somente 256 cores (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

2.4.3. Realce de contraste

A técnica de realce de contraste tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens sob o critério subjetivo do olho humano. 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, esta transferência radiométrica é realizada com a ajuda de histogramas, que são manipulados para obter o realce desejado. O aumento do contraste não irá revelar uma informação nova, ele apenas

apresentará a mesma informação dos dados brutos, porem de uma forma mais clara (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

2.4.3.1. Histograma

Um histograma é um gráfico, usualmente representado em forma de barras, que apresenta agrupamentos de um conjunto de dados em células. O histograma é uma das formas mais comuns de se representar a distribuição dos níveis de cinza (nc) de uma imagem. O histograma fornece a informação de quantos pixels na imagem possuem um determinado nível de cinza, definido entre 0 (preto) e 255 (branco), para uma imagem quantificada em 8 bits. Outra característica é que o histograma não apresenta nenhuma informação espacial da imagem, e sim uma função de probabilidade de encontrar um nível de cinza, referente a um objeto qualquer da imagem. Normalmente, temos no eixo x a distribuição dos níveis de cinza e no eixo y a freqüência em que ocorrem (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000). A Figura 1 ilustra o gráfico da freqüência versus o nível de cinza.

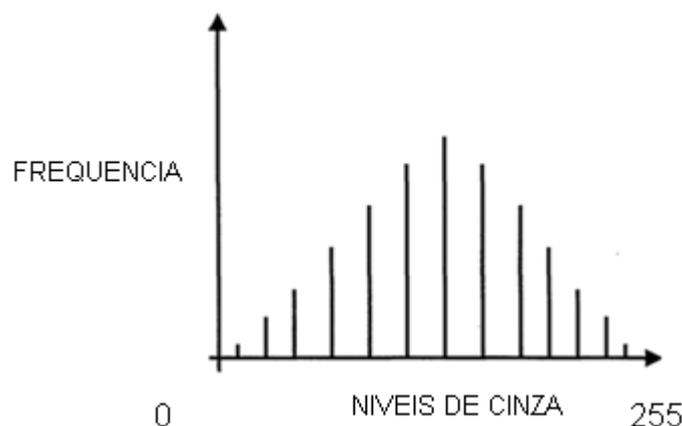


Figura 1 – Freqüência x nível de cinza

Um histograma descreve a distribuição estatística dos níveis de cinza em termos do numero de amostras, pixels, com cada nível e esta distribuição pode

também ser dada em termos da percentagem do numero total de pixels na imagem (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

Os histogramas podem ser unidimensionais, isto é, para apenas uma imagem, banda, ou multidimensionais, quando representa a distribuição de duas ou mais bandas, sendo o de duas dimensões o mais simples. Um histograma de duas bandas permite analisar visualmente o grau de correlação entre duas bandas e decidir sobre o tipo de técnica de aumento de contraste (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

A forma do histograma fornece informações importantes como a intensidade media e espalhamento dos valores de nível de cinza, sendo este ultimo a medida de contraste da imagem e quanto maior o espalhamento ao longo do eixo dos níveis de cinza, maior o contraste da imagem (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

2.5. Limiarização

A limiarização ou binarização é um processo que tem como objetivo, obter uma imagem binária a partir de uma imagem em tons de cinza. Esta transformação reduz de maneira drástica o tamanho da imagem em bytes e assim torna ágil o processamento das fases posteriores. A transformação de imagem se dá quando os pixels com tons mais próximos a preto e os que são totalmente pretos na imagem original vão gerar pixels pretos na imagem binária. De forma análoga, os pixels cuja intensidade for branco ou próximo a ele, irão originar pixels brancos na imagem transformada (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

A imagem limiarizada apresenta dois contextos distintos de análise. Um deles se refere ao primeiro plano da imagem, que é o objeto de interesse, o gráfico ou o texto, o componente primordial. O outro corresponde ao fundo da imagem. O objetivo da limiarização ou binarização é marcar os pixels que pertencem às regiões do primeiro plano como ligado e os pixels do segundo plano como desligados (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

O processo de limiarização tem seu uso muito difundido em scanners binários, os quais combinam a digitalização com a limiarização da imagem para obter uma figura binária. Mesmo que nestes dispositivos o usuário, muitas vezes, possa adaptar a imagem de acordo com suas necessidades, podendo escolher um valor de limiar, podendo adaptar uma imagem binariamente fraca, nem sempre isto produz resultados desejados. O produto final de uma imagem digitalizada e binarizada através de um scanner são geralmente pobres, já que os aparelhos que capturam a imagem introduzem uma falta de nitidez, principalmente nas bordas e nos detalhes (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

2.5.1. Tipos de limiarização

Quando os valores dos pixels, tanto no plano do objeto quanto do fundo da imagem, tem relevância sobre a imagem inteira, então um único valor de limiar é suficiente para deixar a imagem em um formato adequado. Quando um único limiar é utilizado para todos os pixels da imagem, tem-se uma limiarização global. No entanto, quando este processo não for o bastante, devido às deformidades dentro das regiões de primeiro e segundo planos, deve-se usar a limiarização adaptativa, ou seja, definimos valores de limiar, um para cada região definida (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

A maneira mais direta para selecionar um valor global de limiar é feita através do uso de um histograma de intensidade dos pixels de uma imagem. Um histograma varre a imagem contando quantos pixels dela existem para cada tom de cinza existente. Com base nestes números se obtém um gráfico, onde um dos eixos apresenta as intensidades existentes e o outro, o número de pixels para cada tom. O histograma é desenhado de modo a traçar linhas paralelas verticais que indicam quantos pixels uma intensidade possui (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

Para uma imagem com primeiro e segundo planos bem diferenciados, o histograma terá dois picos distintos, o vale entre esses dois picos é o ponto de

mínimo entre os dois pontos de máximo, e o valor da intensidade no vale será escolhido como o limiar global (MARQUES FILHO, 1999) (ALBUQUERQUE, 2000).

CAPÍTULO 3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

3.1. O PROCESSO DE ENVASAMENTO

Um típico sistema de envasamento de líquidos funciona a partir de um fluxo contínuo de entrada de frascos e líquidos e de saída final de recipientes envasados. O líquido entra por bocais apropriados passando por um sistema de filtragem antes de chegar à máquina envasadora, enquanto os frascos são conduzidos desde o início até o final do processo por esteiras movimentadas (ROSS; MEGIOLARO, 2008). A Figura 2 ilustra o diagrama típico de envasamento de líquidos, no caso de óleo comestível.

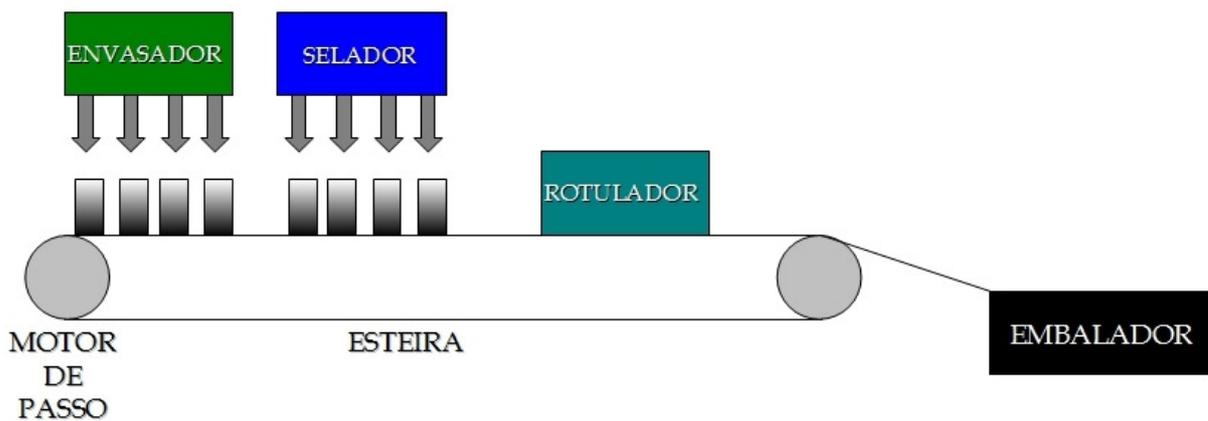


Figura 2 – Diagrama típico de um processo de envasamento de óleo comestível

Após o líquido estar acondicionado no frasco, na seqüência do processo, esse recebe o fechamento superior por rolha, tampa ou similar, recebendo o encapsulamento superior e a rotulação apropriada. Após o processo estar concluído, os frascos cheios são retirados na extremidade oposta à sua entrada e levados ao seu destino final (ROSS; MEGIOLARO, 2008). A Figura 3 ilustra uma típica máquina de envasamento de refrigerante.



Figura 3 – Máquina de envasamento de refrigerante (cortesia: IRL)

Para a tarefa de rotular é concebido um dispositivo rotativo para a rotulagem cilíndrica, acoplado em máquinas rotuladoras, que compreende um posicionador circular rotativo e um massagedor circular rotativo, acoplados nas laterais da máquina rotuladora, movimentados por motores, respectivamente, que são ligados a um painel de controle, onde recebem de maneira contínua os frascos que percorrem a esteira transportadora guiados pelos protetores laterais para serem rotulados (ROSS; MEGIOLARO, 2008). A Figura 4 ilustra uma esteira com as garrafas envasadas.



Figura 4 – Esteira com garrafas envasadas (cortesia: HBM)

3.2. O PROBLEMA

Garrafas com líquido fora dos padrões passam pelo controle visual do funcionário. A visualização das garrafas pelo funcionário é trabalhosa, requer uma acuidade visual que propicia uma fadiga mental.

A velocidade de reação do funcionário e a precisão de sua visualização também são variáveis, tendendo a diminuir em função do tempo, por conta de seu desgaste físico. A Figura 5 mostra um funcionário realizando a inspeção visual do conteúdo de garrafas em uma máquina de envasar refrigerantes.



Figura 5 – Funcionária realizando inspeção visual (cortesia: IRL)

3.3. SOLUÇÃO PROPOSTA

É proposto um sistema de visão computacional que não depende da intensidade visual do ser humano. Foi criado um sistema para levantar dados, analisar e processar a imagem no formato digital. Esse sistema é formado por um conjunto de componentes físicos, como: esteira, motor de passo, câmera e computador; os quais se constituem para transferir, armazenar e processar dados.

Um programa especializado controla a aquisição de imagens, faz a calibração da imagem adquirida pela câmera e controla o motor de passo que movimenta a

esteira, fazendo com que o sistema seja automatizado na leitura da quantidade de líquido no frasco.

Quando se deseja construir um sistema automatizado para inspeção visual em uma linha de produção ou em um sistema industrial já montado tem-se:

- uma iluminação ou conjunto óptico para a captura da imagem;
- uma câmera, que através desse conjunto óptico, vai fazer a leitura da imagem e transformá-la em sinal elétrico;
- uma placa de captura de imagens: não é uma placa convencional de aquisição de dados, sim uma placa própria para aquisição de imagens;
- um programa aplicativo que vai efetivamente utilizar a imagem captura ao compará-la com as informações contidas em seu banco de dados e imagens, para então tomar as devidas decisões.

A Figura 6 ilustra a arquitetura descrita para um sistema típico de visão de máquina.

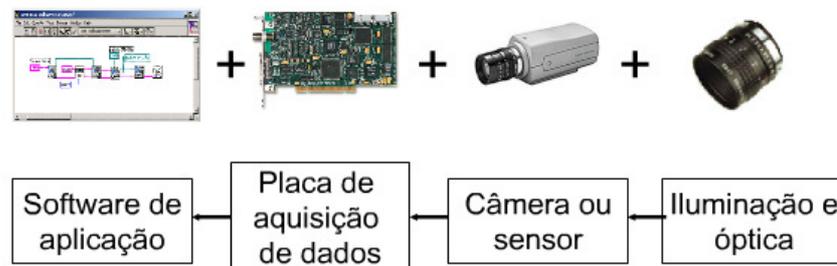


Figura 6 – Sistema típico de visão de máquina (Cortesia: National Instruments do Brazil)

3.3.1. Prejuízos do processo sem o sistema proposto

Em lotes de 236.926 garrafas tem-se como prejuízo 0,25 % das embalagens envasadas, sendo garrafas mal cheias, sem tampa ou vazias (BRANDSTETTER; BUCAR, 2008).

Isso acarreta em perdas financeiras por conta do tempo necessário para sua identificação, seu retrabalho e, eventualmente, retorno de garrafas que foram com

falhas para os clientes, onde o prejuízo não é só financeiro, mas institucional, também.

Somem-se a isso os prejuízos com a saúde dos trabalhadores que têm à prova a sua acuidade visual e sua postura desconfortável durante as inspeções que realizam. Tais prejuízos também acarretam perdas com indenizações e funcionários afastados por lesões ou desgastes provocados pela situação.

3.3.2. Equipamentos a serem adquiridos

Baseando-se na arquitetura adotada (Figura 6), com vistas à implantação do sistema proposto, se faz necessário adquirir os seguintes equipamentos:

- Sistema de iluminação;
- Câmera digital (webcam);
- Placa de aquisição de imagem;
- Disco rígido com capacidade de 2 Tbytes;
- Motor de passo;
- Programa aplicativo.

A esteira industrial usada atualmente não precisará ser alterada.

3.3.3. Investimento Necessário

Os componentes relacionados como aquisição necessária para o sistema no item 3.3.2 estão listados com seus respectivos valores de investimento, sendo destacado o valor total do mesmo:

- | | |
|---|-------------|
| • Sistema de iluminação | US\$ 150,00 |
| • Webcam Creative® NX | US\$ 130,00 |
| • Placa de aquisição de imagens | US\$ 250,00 |
| • Disco rígido com capacidade de 2 Tbytes | US\$ 500,00 |
| • Motor de passo, híbrido de 1.8° | US\$ 660,00 |
| • Programa em Delphi® | US\$ 500,00 |

3.3.4. Fluxograma do sistema

A Figura 7 ilustra o fluxograma equivalente à seqüência de procedimentos realizada pelo aplicativo para cada imagem adquirida. Essa seqüência é válida para o protótipo montado para validação do sistema.

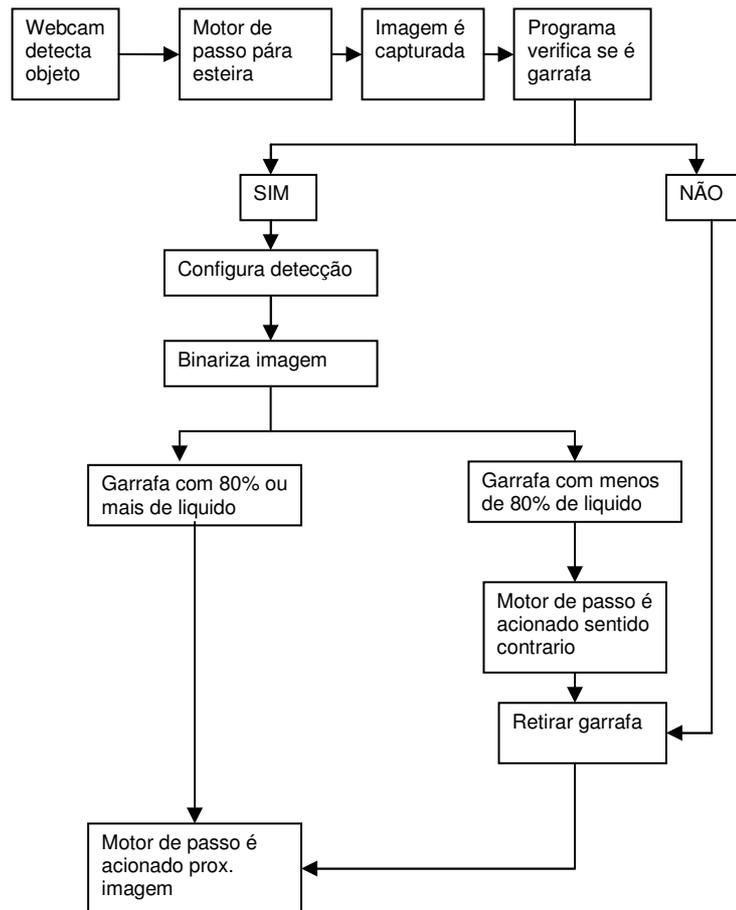


Figura 7 – Fluxograma do sistema de inspeção automática de conteúdo

3.3.5 Programação em Delphi®

Para realizar a programação do aplicativo para o sistema proposto foi utilizado o ambiente de programação Borland Delphi®, versão 2005.

A escolha recaiu sobre esse ambiente haja vista a possibilidade de uma pessoa com pouca experiência em programação realizar um aplicativo, face à sua capacidade de modularização, o que possibilita sua programação a partir da definição das telas que se pretende para a interface gráfica do usuário – GUI (*Graphical User Interface*).

CAPÍTULO 4 DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO

4.1. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO PROTÓTIPO

Para implantar o sistema de visão proposto para a verificação do nível de líquido, foi utilizado um frasco com 110 mm de altura por 35 mm de diâmetro no bojo e 15 mm no gargalo e uma esteira rolante de 1000 mm de comprimento por 150 mm de largura. Essa esteira rolante tem aplicação didática e é acionada por um motor de passo acoplado a um de seus rolamentos. Um programa computacional desenvolvido em Delphi[®] aciona o motor de passo e coordena a captura de imagem pela webcam e sua comparação aos registros em seu banco de dados e imagens.

4.2. MOTOR DE PASSO

A crescente popularidade dos motores de passo se deve à total adaptação desses dispositivos à lógica digital. Como os motores de passo têm movimentos precisos, qualquer equipamento que necessite de precisão no movimento utiliza esses motores. Pode-se citar o controle de micro-câmeras, furação automática de acordo com instruções sobre posições dos furos, movimentação de braços mecânicos, impressoras, unidades de disco, aeromodelos etc. (BRAGA, 2003).

Sua utilização é muito ampla não permitindo a declaração de toda sua utilidade, mas é possível dizer que vai desde o controle de máquinas industriais até pequenas demonstrações em um curso de robótica. Com o auxílio desses motores, podem ser criadas interfaces entre a CPU e o movimento mecânico, constituindo, em resumo, um facilitador para a robótica (VIVALDINI, 2009).

Os motores comuns giram em velocidade constante, pois possuem apenas dois estágios de operação, ou seja, parado ou girando, enquanto que os motores de passo deslocam-se por impulsos ou passos discretos e exibem três estágios: parados, ativados com rotor travado com as bobinas energizadas ou girando em

etapas. Esse movimento pode ser brusco ou suave, dependendo da frequência e amplitude dos passos em relação à inércia em que ele se encontra (VIVALDINI, 2009).

Os motores de passo têm aplicações específicas, ou seja, em rotações de eixos em um ou vários passos, dependendo de sinais fornecidos pelos circuitos digitais de comando. Podem ser usados em circuitos abertos, ou seja, sem qualquer realimentação de controle normalmente proporcionada por potenciômetros, codificadores, geradores tacométricos e assim por diante, evitando com isso os problemas encontrados nesses sistemas, como a instabilidade e ultrapassagem, podendo substituir os servomotores de corrente contínua convencionais (VIVALDINI, 2009).

4.2.1. Princípio de funcionamento

Um motor de passo é eletromagnético, ou seja, ele converte mecanicamente pulsos digitais em incrementos de rotação ou passo do eixo. A rotação não só tem uma relação direta ao número de pulsos, mas sua velocidade é relacionada à frequência dos mesmos (BRAGA, 2003) (VIVALDINI, 2009).

Entre cada passo, o motor pára na posição, com sua carga, sem a ajuda de embreagem ou freios, assim um motor de passo pode ser controlado de uma forma que o faz girar certo número de passos, produzindo um movimento mecânico por uma distância específica, segurando sua carga quando pára. Além disso, pode repetir a operação quantas vezes forem necessárias (BRAGA, 2003) (VIVALDINI, 2009).

Em termos de transmissão, as correias dentadas são mais indicadas que as engrenagens, devido ao fenômeno da ultrapassagem provocado pelo baixo amortecimento desses motores, que poderiam quebrar ou desgastar rapidamente os dentes. Mas o melhor mesmo é sempre que possível, utilizar a transmissão direta (BRAGA, 2003) (VIVALDINI, 2009).

4.2.2. Tipos de motor de passo

Motor de passo de relutância variável: tem um rotor (Figura 8) com vários pólos, construído com ferro doce e um estator (Figura 9) laminado, e por não possuir imã, quando energizado, apresenta torque estático nulo (VIVALDINI, 2009).



Figura 8 – Rotor com pólos e imãs acoplados

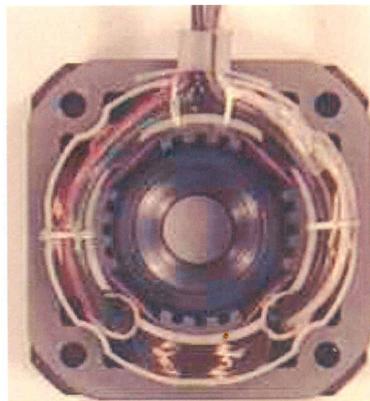


Figura 9 – Estator de um motor de passo

Motor de passo de imã permanente: difere do motor de passo de relutância variável, pois tem rotores de material alnico ou ferrite sem dentes e magnetizado perpendicularmente ao eixo, devido a isso, o torque não é nulo (VIVALDINI, 2009).

Motor de passo híbrido: combina as características dos motores de passo de relutância variável e dos imãs permanentes. O motor de passo híbrido tem algumas das características desejáveis de cada um, quais sejam: alto torque, não apresenta

torque estático nulo, e podem operar em velocidades de passos altas (VIVALDINI, 2009).

Para o trabalho proposto, foi escolhido o motor de passo híbrido (Figuras 10 e 11) que possui as seguintes especificações: ângulo de passo 1,8°; tensão nominal de 12 volts; corrente 0,6A/fase; torque de 5 kgfcm; enrolamento unipolar. A Tabela 1 relaciona sua seqüência de fases.

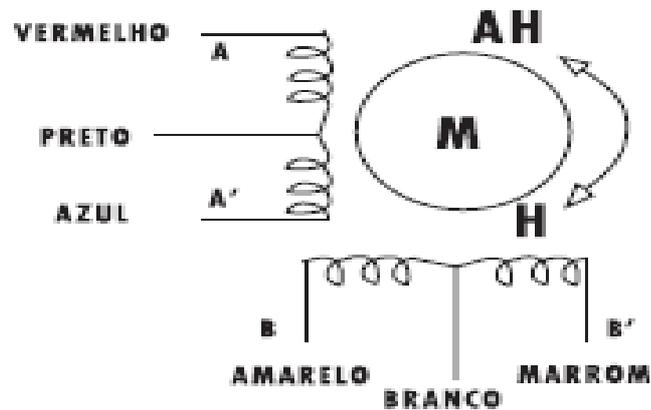


Figura 10 – Esquema de ligação de um motor de passo híbrido

Tabela 1 – Seqüência de fases

PASSO	A	B	A'	B'	BRANCO	PRETO
0	+	+			+	+
1		+	+		+	+
2			+	+	+	+
3	+			+	+	+

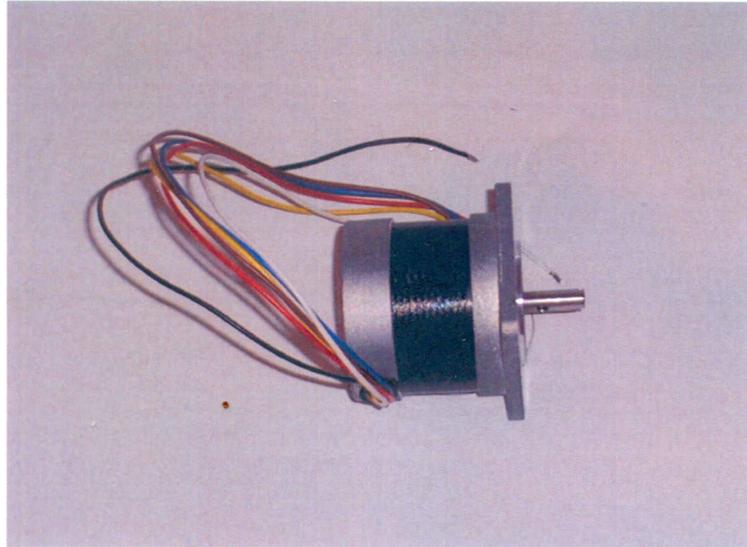


Figura 11 – Motor de passo híbrido, vista longitudinal

Esses motores são providos de pólos que são formados por dois enrolamentos, de forma que uma única fonte pode ser usada. Se as fases são energizadas uma de cada vez, na ordem indicada, o rotor gira em incrementos de 1.8 graus. Esse motor também pode ser controlado de forma a usar duas fases de cada vez, a fim de produzir meio-passo ou incrementos de 0.9 graus (VIVALDINI, 2009).

4.2.3. Controle lógico do motor de passo

Os motores de passo se comportam diferentemente de outros motores de corrente contínua. Primeiramente, ele não pode girar livremente quando alimentado classicamente, eles fazem como o seu próprio nome sugere: usam passos (BRAGA, 2003) (VIVALDINI, 2009).

Um circuito responsável por converter sinais de passo e de direção em comandos para os enrolamentos do motor é o controle lógico. Esse recebe os sinais de passos e a direção, gerando os sinais para que o motor gire. Após essa fase de controle lógico, é preciso do controle eletrônico, que se encarrega de fornecer a corrente elétrica requerida pelos enrolamentos do motor (BRAGA, 2003)

(VIVALDINI, 2009). Um exemplo básico do bloco lógico eletrônico pode ser visto na Figura 12.

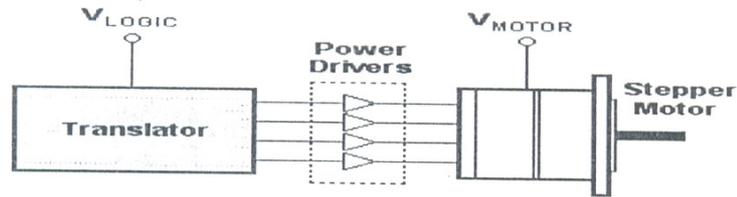


Figura 12 – Bloco lógico

Onde: V_{logic} é a fonte de alimentação do controle lógico;

Translator é o controle lógico;

Power drives é o controle eletrônico;

V_{motor} é a tensão requerida pelo motor.

Os sinais lógicos podem ser gerados de duas maneiras: por *hardware* (periférico) ou *software* (programa), sendo que ao utilizar microcomputadores, a geração será feita tanto pelo programa quanto pelo periférico.

O controle lógico dos motores de passo serve para qualquer tipo de motor: unipolar, bipolar, magnético permanente, híbrido etc. O que os diferencia são os tipos de passo. O tipo de passo mais simples é descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Passo usual – rotação no sentido horário

INDEX	1a	1b	2a	2b
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1
5	1	0	0	0
6	0	1	0	0
7	0	0	1	0
8	0	0	0	1

Para gerar esse passo, basta usar um circuito integrado contador e montá-lo como na Figura 13, ligando os terminais 1A, 1B, 2A, 2B no controle eletrônico.

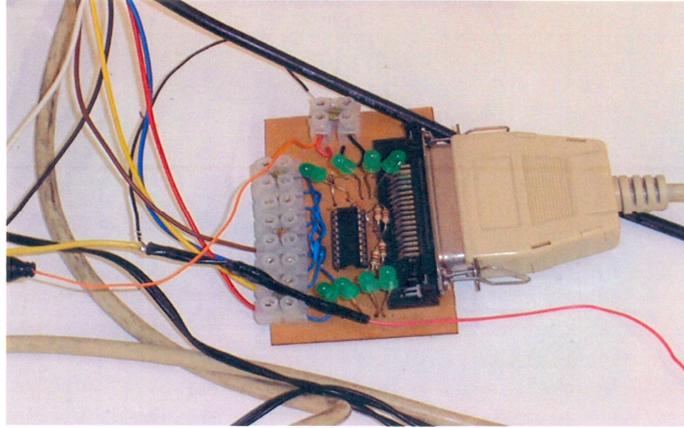


Figura 13 – Circuito integrado contador

4.3. WEBCAM

Webcam é uma câmera de vídeo de baixo custo que capta imagens, transferindo-as de modo quase instantâneo para o computador. Desenvolvida em meados dos anos 60, seu princípio é basicamente formado por uma lente, um sensor e circuito eletrônico que transforma uma imagem em impulsos elétricos, gerando valores de tensão proporcionais à intensidade de luz incidente na cena.

A câmera utilizada neste trabalho foi a webcam Creative[®] NX (Figura 14), que tem como características: resolução de captura de vídeo digital 640 x 480 pixels, sensor VGA, controle de autoexposição e interface USB.



Figura 14 – Webcam Creative® NX

O USB é um tipo de conexão “ligar e usar” e foi criada com o objetivo de fazer com que o computador reconheça e configure automaticamente qualquer dispositivo que seja instalado, facilitando a expansão segura dos computadores, eliminando a configuração manual.

A conexão USB, além de estabelecer um protocolo básico de detecção de dispositivos e especificações, permite complementar a inicialização de dispositivo mediante a categoria que ele se insira. A versão usada é a USB 2.0 e os dispositivos que a utilizam são: webcam, teclado e mouse.

4.4. ESTEIRA

Há muitos modelos diferentes de esteiras transportadoras. Elas podem ser do modelo convencional, como também podem ser seccionada, balanceada ou reforçada. Neste protótipo foi utilizado um modelo convencional, de baixo custo e de dimensões reduzidas, onde o motor de passo foi acoplado a um de seus rolamentos para controle de sua velocidade.

4.5. PROGRAMA EM DELPHI®

O ambiente de programação utilizado neste trabalho foi o Delphi® 2005. O Delphi® é um ambiente computacional que reúne características e ferramentas de apoio ao desenvolvimento de programas aplicativos. Tem como objetivo agilizar o processo de desenvolvimento de programas e é produzido pela Borland Software Corporation. A linguagem utilizada pelo Delphi® a partir de 2005 é chamada Delphi® language.

As principais diferenças entre o Delphi® e outras ferramentas de desenvolvimento são: as bibliotecas de componentes, a ênfase na conectividade com diversos bancos de dados e um grande número de componentes produzidos por terceiros, muitos deles disponíveis na internet e em grande parte com o código fonte livre.

As vantagens do programa em Delphi® são: a existência de uma grande quantidade de componentes prontos em sua biblioteca, facilidade de uso e aprendizado, desenvolvimento rápido e velocidade de execução do código comparada apenas à linguagem C.

As etapas de verificação praticadas nesse algoritmo englobam as operações morfológicas como: histograma, limiar ou binarização. O programa desenvolvido em Delphi® utiliza o sistema de verificação da quantidade de líquido em um frasco por meio da porcentagem, pois esse sistema simplifica a verificação e capacita uma pessoa sem grande experiência a controlar o sistema sugerido, verificando se o princípio: frasco dentro do parâmetro proposto está habilitado ou não. A Figura 15 ilustra uma página do programa desenvolvido em Delphi® 2005.

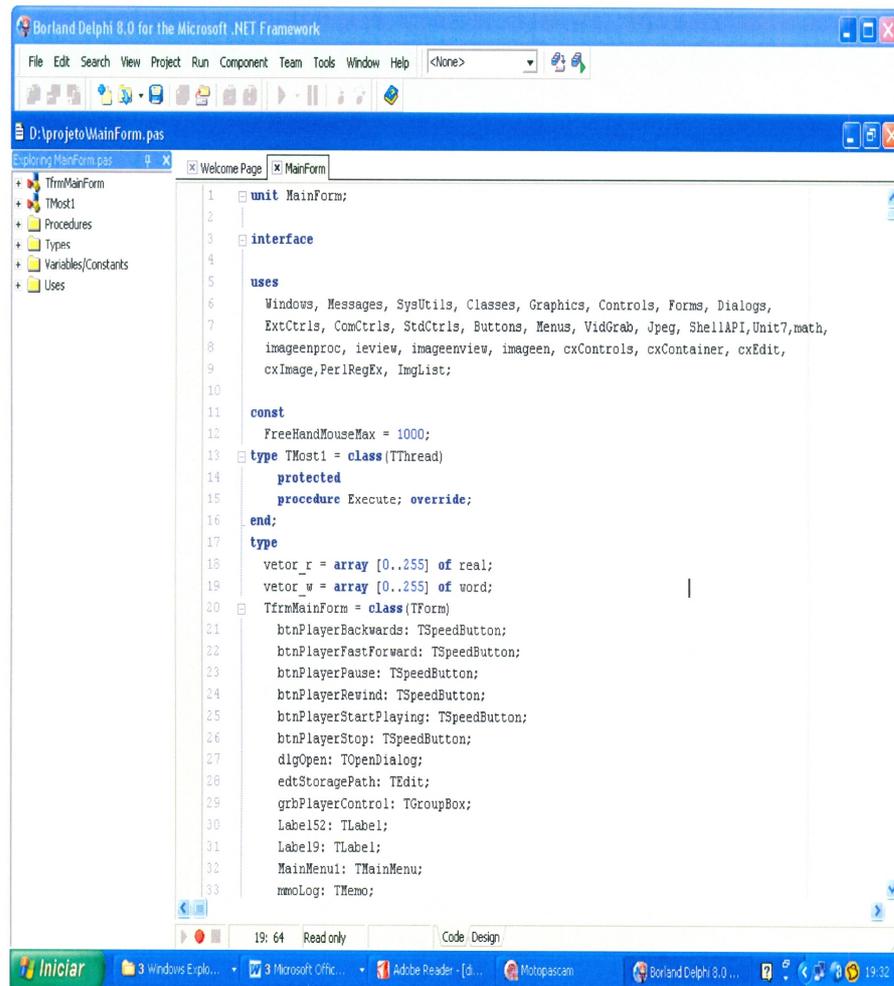


Figura 15 – Página do programa em Delphi® 2005

4.5.1. Aplicação do programa em Delphi®

Na tela inicial do programa computacional, aba principal, conforme ilustrado na Figura 16 estão disponíveis as opções:

- Arquivo: clicando no ícone, se tem acesso às opções: abrir o último vídeo gravado, fechar um vídeo aberto e sair;
- Ajuda: como usar o programa e imagem ideal.
- Em seguida, aparecem as abas: principal, gravar, sistema e processando vídeo;
- Selecione o dispositivo de vídeo: webcam NX;

- Ligar a câmara, desligar, pausar ou retornar;
- Escolher o sentido do motor de passo e parar o motor, alterar a velocidade do motor de passo.



Figura 16 – Tela inicial, aba principal

No lado direito da aba principal, está disponível:

- Detectar o objeto em movimento;
- Configurar detecção: quando se aciona “configurar detecção” aparece o *grid layout*, onde é possível alterar o nível de detecção, conforme ilustrado na Figura 17;
- Automatizar sistema: o motor de passo pára, o objeto é detectado, binariza a imagem, analisa a imagem e verifica se é frasco, conforme ilustrado na Figura 18.

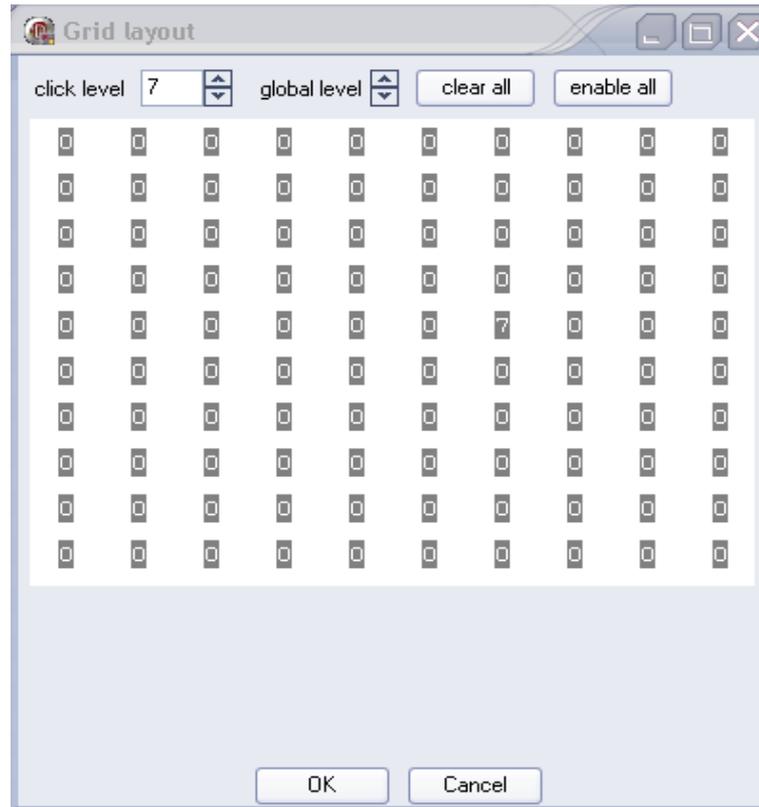


Figura 17 – Grid 10 x 10



Figura 18 – Automatizando o sistema

Na aba gravar, pode-se gravar com opção de método, compressão do vídeo com opção de tipos e capturar as imagens do vídeo com opção de arquivo, conforme se vêem na Figura 19. Esse item permite fazer levantamentos dos frascos que foram inspecionados com a finalidade de se obter relatórios do andamento da automatização do processo.



Figura 19 – Aba gravar

Na aba sistema pode-se escolher a porcentagem de líquido ideal, congelar a imagem do frasco, passar o mouse nos lugares indicados na tela e, com esses valores, optar por devolver, devolver e capturar, continuar ou continuar e capturar, conforme ilustrado na Figura 20.



Figura 20 – Aba sistema

Na aba processando vídeo estão disponíveis as configurações do vídeo. Tem-se o dispositivo de vídeo com as suas propriedades, o controle da câmera, a qualidade do vídeo, o controle do vídeo e o modo de exibição, conforme ilustrado na Figura 21.



Figura 21 – Aba processando vídeo

CAPÍTULO 5 APLICAÇÃO DO SISTEMA DE VISÃO

5.1. DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DO SISTEMA DE VISÃO

Nas Figuras 22 a 25 pode-se observar como o sistema de visão está montado, com a esteira, o motor de passo, a webcam e o microcomputador. Nota-se ao fundo a esteira com frascos cheios e vazios e à sua frente a webcam para a captura da imagem. Para transmitir o movimento do motor de passo para a esteira foi utilizada uma bucha de alumínio feita na universidade. Ao lado do motor de passo tem-se a placa digitalizadora ligada ao microcomputador, onde o aplicativo está instalado.

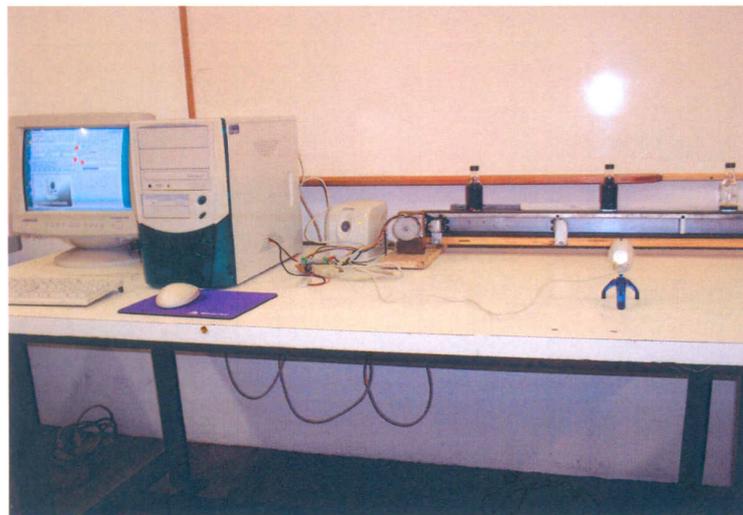


Figura 22 – Vista frontal do sistema de visão

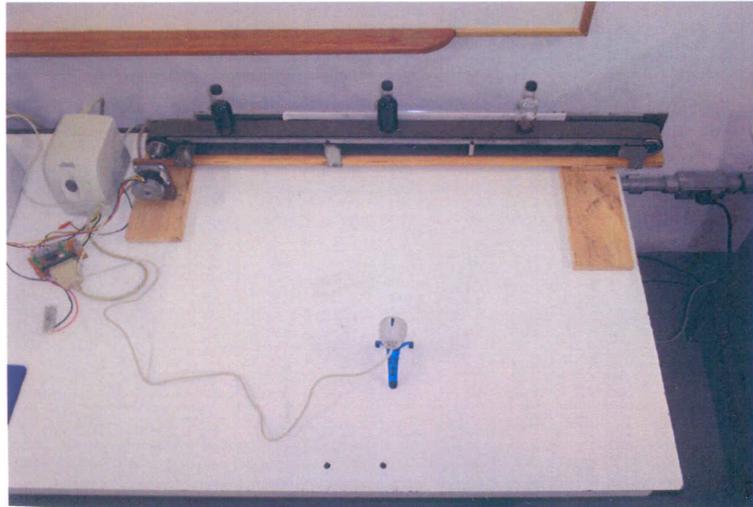


Figura 23 – Vista superior do sistema de visão

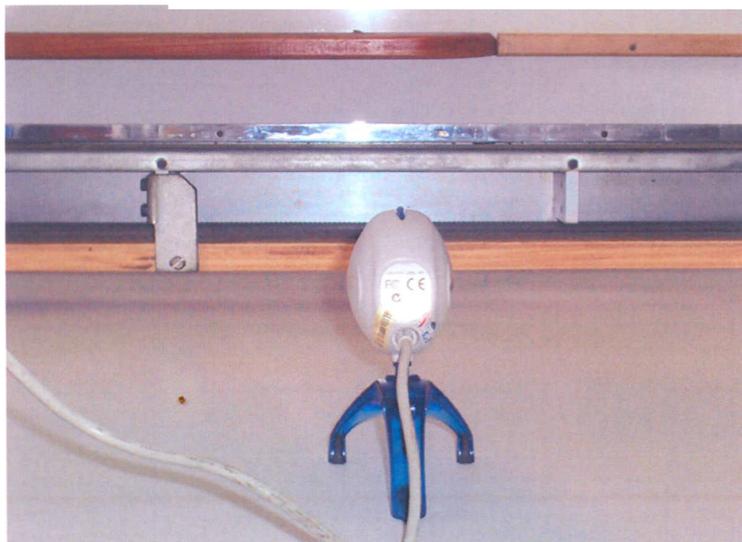


Figura 24 – Vista da webcam acoplada ao sistema de visão

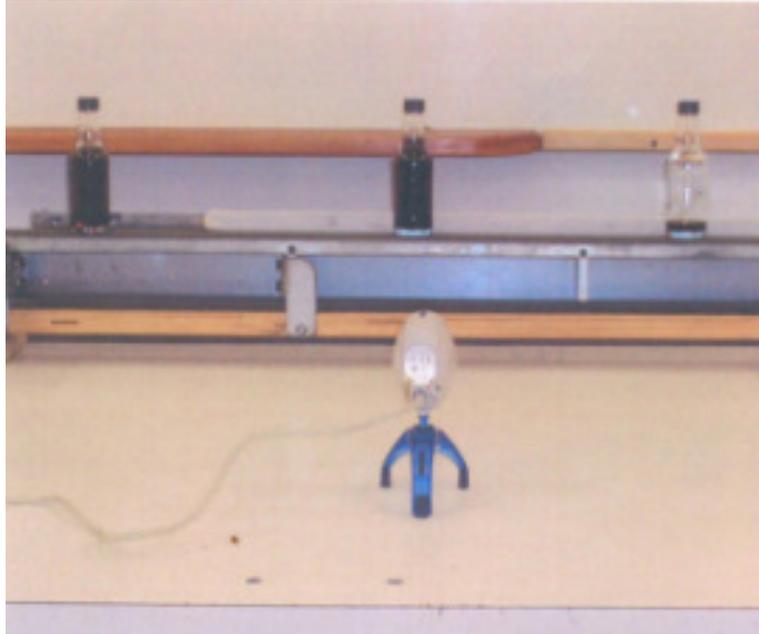


Figura 25 – Vista da esteira e dos frascos

Para validar esse sistema é necessário que o sistema de processamento de imagens atue rapidamente e se ajuste a técnica da aquisição de imagens. A solução tem que proporcionar uma resposta rápida na verificação do nível de líquido no frasco. Para tanto, deve-se fazer a aquisição de imagens em tempo real, a qual atualiza os quadros de imagem adquiridos pela placa para que sejam exibidos no monitor do microcomputador, tornando o sistema de visão mais rápido.

5.2. RESULTADOS OBTIDOS

O sistema proposto envolveu alguns testes primários nos seus componentes com o intuito de exercitar o seu funcionamento e se alcançar as suas melhores configurações.

O motor de passo foi colocado em funcionamento para que fosse possível avaliar o movimento da esteira didática. Esse funcionamento inicial também foi feito por meio do programa em Delphi®. Foi avaliada a velocidade que seria mais conveniente para o sistema, ou seja, uma velocidade que não fosse rápida demais e

impossibilitasse a webcam de captar a imagem ou uma velocidade baixa demais que não fosse interessante para o trabalho.

Foi feito teste de velocidade da esteira, primeiramente com 10 m/s, a imagem ficou nítida e possibilitou a perfeita identificação dos objetos. Após, foi testada a velocidade de 20m/s, a qual indicou um movimento da esteira muito rápido, que prejudicou o reconhecimento do objeto pela webcam. Nesses primeiros testes já ficou claro que o sistema é viável e que só depende ajustes de acordo com o processo ao qual for aplicado.

Foi feito um primeiro teste com os frascos cheios na esteira, como estava com muito brilho no local, ou seja, posicionamento errado da mesa sobre a qual a esteira estava repousada, a webcam não conseguiu captar a imagem.

O posicionamento da esteira foi melhorado e a imagem foi capturada, ou seja, a webcam detectou que havia um objeto na esteira, interrompeu o movimento da esteira parando o motor de passo. O programa detectou que é um frasco e, sendo assim, esse frasco foi utilizado para calibrar o sistema, pois estava com a quantidade de líquido adotada como ideal.

O próximo teste a se fazer foi observar se o sistema reagiria com frascos fora do padrão. O sistema reagiu como esperado, onde um frasco com líquido abaixo dos 80% do frasco calibrado foi detectado pelo programa e esse fez com que a esteira tivesse o seu curso invertido, para que o mesmo fosse retirado da esteira, voltando ao curso normal após 10 segundos. Esse tempo de 10 segundos para a retirada do frasco pode ser modificado conforme se deseje.

Sendo assim foi feito o teste final com frascos cheios, frascos com líquido abaixo dos 80% e frascos sem líquido algum. Os resultados foram excelentes, pois todos os frascos foram reconhecidos pelo programa, não acontecendo nenhuma falha de reconhecimento.

Vale salientar que a seqüência de procedimentos descrita foi adotada com fins didáticos, com o claro intuito de validar o sistema. Para aplicação em um processo real, o programa deve ser adaptado à seqüência adotada para maior produtividade desse processo.

CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1. CONCLUSÕES

Os testes realizados possibilitaram observar que:

- Quando a esteira para e a webcam adquire a imagem e verifica que a quantidade de líquido no frasco, definida anteriormente, se encontra no intervalo de 80% a 100%, do valor colocado como ideal, o frasco continua na esteira e é aceito;
- Quando a quantidade de líquido se encontra abaixo do intervalo de 80% do valor determinado como ideal, o motor de passo inverte seu sentido de giro, a esteira inverte o seu sentido e o frasco é retirado da esteira;
- A esteira volta a ter o seu movimento contínuo para adquirir a imagem do próximo frasco e assim sucessivamente;
- Um relatório dos frascos que foram analisados pode ser gerado, para uma melhor análise da quantidade e dos defeitos que foram levantados.

Dessa forma, nota-se que a arquitetura proposta representa uma solução viável técnica e economicamente para pequenas e médias automações, haja vista que as necessidades de ambiente e equipamento são restritas a uma configuração básica que não está relacionada a nenhum modelo específico, havendo a flexibilidade dada pelo próprio programa, por meio de pequenas modificações em seu código fonte, para adaptar-se a diversas situações, inclusive àquelas que exijam componentes mais robustos, especialmente a automações de processos mais complexos e com necessidade de cuidados especiais quanto ao ambiente onde se encontram.

6.2. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Como futuro trabalho, pode-se estudar um sistema automático para retirar da esteira os frascos que são rejeitados pelo sistema.

Este sistema automático pode ser um braço articulado que receberia um comando do programa para agarrar uma garrafa no momento exato da sua rejeição.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. P. **Processamento de imagens: métodos e análise**. 2000. Disponível em: <<http://www.cbpf.br/~mpa/curso2.htm>>. Acesso em: 23 de agosto de 2005.
- ALMEIDA, A. B. Usando o computador para processamento de imagens médicas. **Revista Informática Médica**, Campinas, v. 1, n. 6, p. 15, nov./dez. 1998. Disponível em: <<http://www.informaticamedica.org.br/informaticamedica/n0106/imagens.htm>> Acesso em: 23 de agosto de 2005.
- BRAGA, R. A. **Modelamento de atuador tipo motor de passo**. 2003. 46f.. Monografia (Pós-graduação em Mecatrônica) – Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2003.
- BRANDSTETTER, M. C. G. O.; BUCAR R. S. Proposta metodológica para identificação de falhas em processos produtivos mediante o uso de ferramentas de controle de qualidade e pesquisa operacional. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., Rio de Janeiro, 2008. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2008. p. 1-14.
- FACCHINI, L. A.; DALL'AGNOL, M. M.; FASSA, A. G.; LIMA, R. C. Ícones para mapas de riscos: uma proposta construída com os trabalhadores. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, p. 497-502, jul.-set. 1997.
- LAMAS, W. Q. **Análise e otimização do sistema de controle realimentado de uma unidade de revestimento de papéis especiais**. 2004. 117 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2004.
- MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento digital de imagens**. Rio de Janeiro: Brasport Livros e Multimídia, 1999. 406 p.
- NATIONAL INSTRUMENTS. **Case studies**. 2009. Disponível em: <<http://sine.ni.com/cs/app/main>>. Acesso em: 26 julho 2009.
- OLIVEIRA, E. C.; FONSECA, G. R. **Estudo de aplicações técnicas de inteligência artificial para controle de semáforo de trânsito**. 2005. 41f.. Monografia (Bacharelado em Computação) – Departamento de Informática, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2005.
- OLIVEIRA, S. A. C. A.; SÁ, C. C.; SANTOS, M. T. Implementação de um sistema de visão artificial para reconhecimento e classificação de imagens bidimensionais visando o controle de qualidade. **Revista do Instituto Superior Tupy**, Joinville, v. 5, n. 4, p. 19-25, out. 2004.
- PINTO, L.A.V., **Análise de Vibração de máquinas em navios e plataforma offshore**, COPPE/URFJ, 2008. Disponível em <<http://digital.ni.com/worldwide/brazil.nsf/web/all/3A05977705FEF7D586256F390079C538>>. Acesso em: 25 de Julho de 2009.

ROSS, L. A.; MEGIOLARO, M. **Equipamento móvel para envasamento de líquidos**. B67C 3/02. BR/RS. PI 0401073-6. 6 fev. 2004, 13 jul. 2004. Patentes Online, 2008. Disponível em: <<http://www.patentesonline.com.br/equipamento-movel-para-embasamento-de-liquidos-4926.html>>. Acesso em: 4 de agosto 2009.

SINGH, G. Mathematical modeling of step motors. In: INCREMENTAL MOTION CONTROL SYSTEMS AND DEVICES SYMPOSIUM, Part I, Chicago, 1972. **Proceedings...** Chicago, Department of Electrical Engineering, University of Illinois, 1972. p. 60-148.

VIVALDINI, K. C. T. **Motores de passo**: material complementar, 2009. 41 f. Notas de aula. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

ACTION MOTORS. **Catálogo de motores de passo**. Itu, 2005. Disponível em: <http://www.actionmotors.com.br>. Acesso em: 15 de agosto 2005.

BARRETO, E. C. C.; BARRETO, E. G. **Visão robótica – um estudo de caso: automatização de um jogo da velha**. 2000. 126 f.. Monografia (Bacharelado em Computação Científica) – Departamento de Informática, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2000.

FRANÇA, C. A.; GONZAGA, A. Algoritmos de detecção de bordas em imagens radiográficas. In: FÓRUM NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM SAÚDE DE CAMPOS DE JORDÃO, 3., Campos do Jordão, 1996. **Anais...** Campos do Jordão, Secretaria Municipal de Saúde, 1996. v. 2. p. 581-582.

GONZÁLES, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2003. 510 p.

PAZOS, F. **Automação de sistemas e robótica**. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil Editora, 2002. 384 p.

RICH, E.; KNIGHT, K. **Inteligência artificial**. São Paulo: Makron Books, 1994. 748 p.

RILLO, A. H. R. C.; BIANCHI, R. A. C.; MOREIRA JUNIOR B.; FERRAZ, F. Integrando visão e comportamento: uma aplicação de reconstrução propositiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 11., São Paulo, 1996. **Anais...** São Paulo, Sociedade Brasileira de Automática, 1996. p. 573-578.

SHIRAISHI, K.; CORTES, P. L. **Delphi 4**. São Paulo: Editora Érica, 1999. 363 p.

SILVA, I. J. M. **Delphi 5: desenvolvendo projetos**. Rio de Janeiro: Editora Altabooks, 2002. 270 p.

SUH, I. H.; KIM, T. W. A visual servoing algorithm using fuzzy logics and fuzzy-neural networks. **Mechatronics**, Oxford, v. 10, n. 1, p. 1-18, feb. 2000.

YU, J. Y.; NA, S. J. A study on vision sensors for seam tracking of height-varying weldment. Part 1: mathematical model. **Mechatronics**, Oxford, v. 8, n. 1, p. 21-36, feb. 1998.

Autorizo cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização específica do autor.

Ricardo Dias
Taubaté, setembro de 2009.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)