

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETROTÉCNICA  
MODALIDADE AUTOMAÇÃO DE ACIONAMENTOS INDUSTRIAIS**

**ROGÉRIO PRESTES SANTOS LIMA  
CLAUDINEI SANTOS SOUZA CARVALHO**

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE VISÃO  
COMPUTACIONAL APLICADA AO CONTROLE DE  
QUALIDADE DE AGULHAS EM UMA INDÚSTRIA  
FARMACÊUTICA**

**TRABALHO ACADÊMICO**

**CURITIBA  
2014**

**ROGÉRIO PRESTES SANTOS LIMA  
CLAUDINEI SANTOS SOUZA CARVALHO**

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE VISÃO  
COMPUTACIONAL APLICADA AO CONTROLE DE  
QUALIDADE DE AGULHAS EM UMA INDÚSTRIA  
FARMACÊUTICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção de grau de Tecnólogo em Eletrotécnica, Modalidade Automação de Acionamentos Industriais, do curso Superior de Tecnologia em Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Rosângela Winter, M.Sc.

**CURITIBA  
2014**

**ROGÉRIO PRESTES SANTOS LIMA  
CLAUDINEI SANTOS SOUZA CARVALHO**

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE VISÃO  
COMPUTACIONAL APLICADA AO CONTROLE DE  
QUALIDADE DE AGULHAS EM UMA INDÚSTRIA  
FARMACÊUTICA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de **Tecnólogo em Eletrotécnica**, Modalidade Automação Industrial, do **Curso Superior de Tecnologia em Eletrotécnica** da **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**.

Curitiba, 30 de maio de 2014

---

Prof. José da Silva Maia, M.Sc.  
Coordenador de Curso  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

---

Prof. Rafael Fontes Souto, M.Sc.  
Responsável pelo Trabalho de Diplomação da Tecnologia  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Ednilson Soares Maciel, M.Sc.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof<sup>a</sup>. Rosângela Winter, M.Sc.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientadora

---

Prof. Márcio Aparecido Batista, M.Sc.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Marcelo Rodrigues, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Nota: O original com as assinaturas encontra-se na coordenação do curso.

## RESUMO

Tendo a empresa a necessidade de aumentar sua produção para atender a demanda crescente de agulhas e também diminuir suas perdas produtivas e reclamações de clientes, a equipe de automação da empresa foi acionada para ajudar a desenvolver uma solução a fim de melhorar o método de inspeção de qualidade de agulhas. Em uma máquina montadora havia um sistema de inspeção baseado em sensores de fibra ótica. Esses sensores apresentavam falhas que não garantiam a total inspeção. Depois de analisar a situação do equipamento, um sistema composto de uma câmera de visão, módulo de controle e monitor de vídeo foi proposto como uma nova ferramenta de controle de qualidade. Após terem sido realizados testes tanto em bancada como na máquina montadora de agulhas, o sistema de visão foi implementado, garantindo assim a integridade do produto final, conseqüentemente aumentando a produção e reduzindo expressivamente as reclamações de clientes relacionadas à qualidade do produto.

**Palavras-chave:** Sistema de visão, visão computacional, qualidade.

## **LISTA DE QUADROS E GRÁFICOS**

QUADRO 1 – Custos de implantação do sistema de visão.....	36
QUADRO 2 – Entradas/saídas do CLP_CQM1H e do módulo CV - 3002.....	37
GRÁFICO 1 – Índices de reclamações.....	46
GRÁFICO 2 – Perdas anuais da AGMO07.....	46

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Pouca aplicação de resina .....	12
FIGURA 2 – Ausência de cânula e cânula torta.....	13
FIGURA 3 – Gradilha de agulhas .....	13
FIGURA 4 – Etapas do sistema de inspeção.....	17
FIGURA 5 – Foto transmitida pelo sistema Bartlane em 1921.....	20
FIGURA 6 – Sequência do processamento de uma imagem.....	21
FIGURA 7 – Escala de cinza de uma imagem monocromática de 8 bits.....	22
FIGURA 8 – Função de realce da imagem.....	23
FIGURA 9 – Imagem padrão de um sistema de inspeção.....	24
FIGURA 10 – Imagem real de um sistema de inspeção.....	24
FIGURA 11 – Inspeção de resina epóxi lado direito e esquerdo .....	26
FIGURA 12 – Sensores de inspeção de resina .....	27
FIGURA 13 – Detalhe de uma gradilha com uma peça .....	28
FIGURA 14 – Sistema montado para teste .....	29
FIGURA 15 – Vista Superior da AGMO 07 .....	32
FIGURA 16 – Câmera do fabricante A .....	33
FIGURA 17 – Câmera do fabricante B .....	34
FIGURA 18 – Câmera do fabricante C .....	35
FIGURA 19 – Câmera do fabricante D.....	36
FIGURA 20 – Sensores do Sistema de Visão .....	38
FIGURA 21 – Ferramentas do Sistema de Visão.....	39
FIGURA 22 – Referência do eixo “X” e “Y” das ferramentas .....	40
FIGURA 23 – Canula_01 .....	41
FIGURA 24 – Epoxi_01 .....	41
FIGURA 25 – Canula_02 .....	41
FIGURA 26 – Epóxi_02.....	41
FIGURA 27 – Epóxi_03.....	41
FIGURA 28 – Aba_Canhão .....	41
FIGURA 29 – Pres._Peça.....	41
FIGURA 30 – AbaCanhão00 .....	41
FIGURA 31 – Epóxi_04.....	41
FIGURA 32 – Estação de rejeição .....	42
FIGURA 33 – Sinais do módulo CV-3002 e CLP_CQM1H .....	43

FIGURA 34 – Visão geral do SV .....	44
FIGURA 35 – Detalhe interno do painel.....	44
FIGURA 36 – Sistema em funcionamento.....	45
FIGURA 37 – Câmera instalada.....	45
FIGURA 38 – Teste preliminar em bancada.....	48
FIGURA 39 – Sistema de inspeção de entupimento .....	50

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

AGMO07	Agulhas Montadora 07
BIT	<i>Binary digit</i>
CCD	<i>Channging coupled device</i>
CLP	Controlador lógico programável
CPM	Ciclos por minuto
EUA	Estados Unidos da América
IP	<i>Internet Protocol</i>
LED	Diodo emissor de luz ( <i>light emitter diode</i> )
MB	<i>Megabyte</i>
RGB	<i>Red, green, blue</i>
RMC	Região metropolitana de Curitiba
ROI	<i>Region of interest</i>
SI	Sistema Internacional de Unidades
SV	Sistema de visão
V <sub>CC</sub>	Tensão em Corrente Contínua
TCC	Trabalho de conclusão de curso



## LISTA DE SÍMBOLOS

”	Símbolo de polegada
%	Sinal de porcentagem
$\infty$	Símbolo de infinito
<	Símbolo de menor
>	Símbolo de maior
h	Unidade hora no SI
min	Unidade minuto no SI
mm	Unidade milímetro no SI
ms	Unidade milissegundo no SI
s	Unidade segundo no SI
V	Unidade de tensão elétrica no SI
W	Unidade de potência elétrica no SI

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1	TEMA.....	10
1.1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	11
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS .....	12
1.3	OBJETIVOS.....	14
1.3.1	OBJETIVO GERAL.....	14
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
1.4	JUSTIFICATIVA .....	15
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	16
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
2.1	HISTÓRICO.....	20
2.2	O SISTEMA DE VISÃO COMPUTACIONAL .....	21
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE VISÃO.....</b>	<b>26</b>
3.1	ANÁLISE PRELIMINAR.....	26
3.2	ENSAIO EM BANCADA.....	28
3.3	CUSTOS DA IMPLANTAÇÃO.....	32
3.4	A ESCOLHA DO EQUIPAMENTO.....	33
3.5	IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE VISÃO.....	37
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>44</b>
4.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
4.2	TRABALHOS FUTUROS.....	49
	REFERÊNCIAS.....	51

# 1 INTRODUÇÃO

O sistema de visão computacional simula a visão humana melhorando a qualidade do processo. Sendo um sistema automático, proporciona uma maior velocidade de processamento sem pausas, conseqüentemente, gera um maior volume de produção (MELO; ROLOFF, 2008).

A crescente necessidade de se automatizar um grande número de tarefas rotineiras realizadas pelo ser humano, e que requerem o emprego de percepção sensorial, elaboração de linhas de raciocínio e capacidade de generalização, tem motivado o desenvolvimento de sistemas computacionais inteligentes (CHAVES; MARTINS, 2007).

Sendo assim, a inspeção é uma etapa importante em muitos meios industriais. A inspeção visual automática pode ser definida como um conjunto de técnicas que vão desde a captação das informações através de câmeras CCD (*Charged Coupled Device*), até a aplicação de algoritmos que tornam possível o controle de qualidade dos produtos nas indústrias (BORGES et al., 2000).

## 1.1 TEMA

O sistema de inspeção, objeto de estudo deste trabalho de conclusão de curso, requer suporte eletroeletrônico e mecânico da planta industrial de uma indústria farmacêutica situada na Região Metropolitana de Curitiba-PR (RMC).

Originada de um pequeno prédio em Nova York no ano de 1897, a empresa foi a pioneira no lançamento de vários produtos médicos, hoje utilizados em larga escala no mundo todo. O negócio começou com a montagem de seringas, agulhas e acabamentos em termômetros. Percebendo que a única maneira de controlar a qualidade dos seus produtos seria por meio de fabricação própria, tiveram que mudar para um prédio maior em 1903. Em 1924 lançou a primeira seringa para a aplicação de insulina. Em 1949, colocou no mercado o tubo para coleta de sangue à vácuo. Em 1950, apresentou ao mercado o *scalp*, acessório para coleta de sangue à vácuo. No

ano de 1956, a empresa de origem americana vem para o Brasil e instala uma fábrica na cidade de Juiz de Fora em Minas Gerais.

Os negócios foram expandidos para a cidade de Curitiba-PR nos anos 80, com a aquisição de uma fábrica de seringas existente e modificada para a fabricação dos produtos com o nome da empresa.

No início, a automação do maquinário da empresa era baseada em comandos eletromagnéticos, motores de corrente contínua, motores dahlander e grandes painéis sinalizadores. Atualmente, o sistema de automação conta com painéis compactos, comando com controladores programáveis, servodrives, motores de passo, interfaces homem-máquina, e câmeras de inspeção. Todo esse aparato é usado para diminuir cada vez mais a intervenção manual no processo, eliminar perdas, aumentar a qualidade e confiabilidade do sistema de produção.

### 1.1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O sistema de visão computacional aplicado ao controle de qualidade será parte integrante da máquina AGMO07, ou seja, na máquina montadora de agulhas número 7. Este equipamento originalmente estava em uma filial da empresa na cidade de Fraga, na Espanha e a planta de Curitiba, solicitou à matriz da empresa que essa máquina viesse a fazer parte do setor de agulhas aqui do Brasil.

Basicamente, esse equipamento é composto de cinco estações seriadas. A primeira é a estação canulador, onde as agulhas são acopladas e coladas com resina epoxi na parte plástica chamada canhão. A segunda é a estação forno, onde é feita a secagem da resina com temperatura controlada de 150°C. A terceira é a estação de siliconizadora, onde as agulhas são molhadas com silicone inerte para fins de lubrificação. Após essa etapa as agulhas seguem para a estação de inspeção onde os problemas de qualidade são verificados por dois sensores de fibra ótica. O descarte ou aprovação de agulhas depende diretamente do sinal desses sensores. Um sistema de visão computacional aplicado ao controle de qualidade na estação de inspeção substituiria esses sensores deixando o processo mais confiável.

A última estação é a estação de colocação de protetores. Nesse processo é colocada pneumáticamente uma capa plástica sobre a agulha para protegê-la contra choques que possam danificar sua ponta.

## 1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Os problemas relacionados à qualidade do material utilizado na produção das agulhas são vários. Dentre eles, destaca-se a má aplicação de resina epoxi (cola da agulha), ou seja, pouca aplicação de resina na estação canulador apresentada na Figura 1.

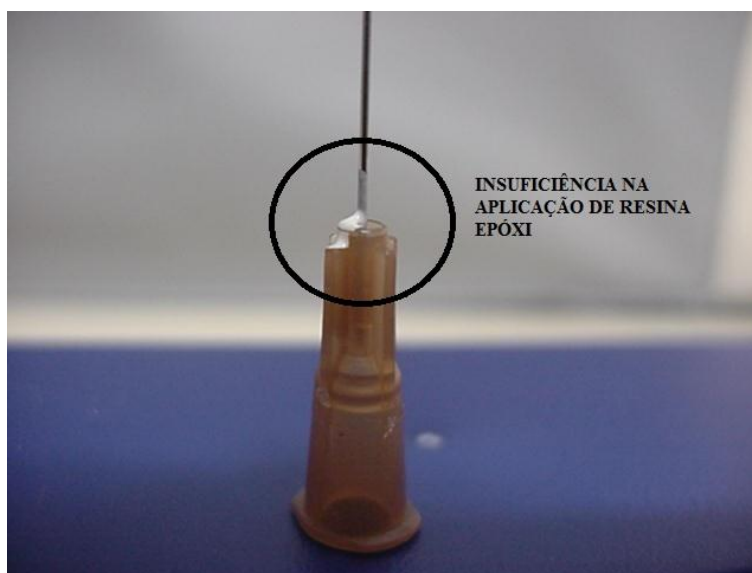


Figura 1 - Pouca aplicação de resina  
Fonte: Aatoria própria

O defeito de pouca resina aplicada, ocorre por falta de pressão pneumática do bico aplicador no momento em que a máquina começa a funcionar. Como a estação canulador pára e parte frequentemente, o número de agulhas com má aplicação de resina é considerável. Este e outros problemas como ausência de cânula ou cânula torta, podem ser observados na Figura 2, na qual é possível verificar também a posição da agulha (cânula) posicionada no canhão plástico.



Figura 2 – Ausência de cânula e cânula torta  
Fonte: Autoria própria

As agulhas são montadas em uma gradilha, que é o nome de um suporte onde são encaixadas 25 agulhas por vez, conforme Figura 3. Esse suporte é feito de um material polimérico de alta resistência mecânica e térmica para suportar o deslizamento nas guias metálicas e também suportar a cura da resina aplicada na etapa de secagem.

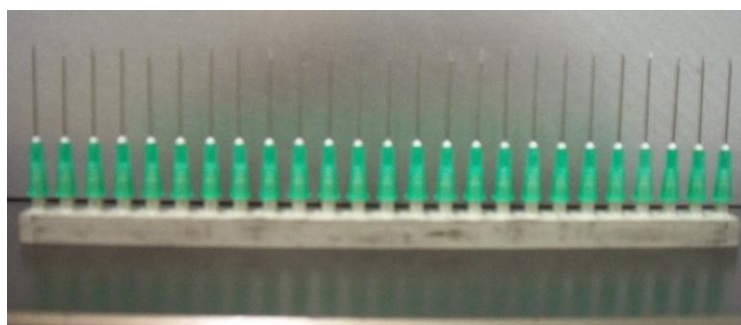


Figura 3 – Gradilha de agulhas  
Fonte: Autoria própria

Essa estrutura de 25 peças facilita o transporte das agulhas pelas estações. Durante o trajeto das agulhas pela máquina podem ocorrer choques em correias frouxas, vibração e tombamento, isso pode acarretar desalinhamento e comprometimento de sua ponta. Falta de atenção e tempo do operador também geram consequências na qualidade das agulhas. Uma das tarefas do operador é, a cada partida da estação canulador, verificar

visualmente o aspecto das agulhas que saem desse processo. Como o colaborador sempre está desenvolvendo alguma outra atividade na máquina, muitas vezes a inspeção na arrancada do canulador passa despercebida e o resultado são várias agulhas com falha na aplicação de resina e agulhas tortas.

Outro defeito comum que contribui para um alto índice de falhas nas agulhas é a má formação do canhão plástico, que é peça onde a agulha é encaixada. Este último defeito está relacionado a complicações de moldagem nas máquinas injetoras de plástico que geram muitas peças de má qualidade. Devido à quantidade de componentes injetados é difícil separar o material ruim que vai para a estação de montagem, onde será feita a inspeção.

Como a máquina tem um tamanho considerável e sua velocidade média é de 55 gradilhas por minuto, eliminar todas as variáveis que causam problemas nas agulhas em cada estação torna-se difícil. Tendo observado os índices de reclamações de clientes sobre os defeitos de ausência de epóxi, ausência de agulha e má formação do canhão plástico, chegou-se ao seguinte questionamento: **Como seria possível a inspeção de 100% das agulhas produzidas independentemente do tipo de produto e velocidade do processo?**

Uma solução para resolver grande parte destes problemas é a implantação de um sistema de visão computacional aplicado ao controle de qualidade que permita que todas as peças sejam inspecionadas evitando que material de má qualidade seja aprovado pelo processo.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 OBJETIVO GERAL

Instalar um sistema de visão computacional aplicada ao controle de qualidade de agulhas em uma indústria farmacêutica.

### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Levantar os dados documentais necessários na empresa (reclamações de clientes sobre produto ruim, perdas por material defeituoso);
- ✓ Identificar os equipamentos necessários e seus fabricantes para confeccionar um modelo de sistema de visão computacional eficiente;
- ✓ Ensaiar em bancada o funcionamento do sistema de inspeção;
- ✓ Identificar as modificações necessárias na estrutura mecânica do equipamento (suporte para sensores, e iluminação auxiliar) e na parte de *software*, por exemplo, alteração na programação CLP (controlador lógico programável) e montar o equipamento de inspeção na máquina;
- ✓ Desenvolver no *software* de interface da câmera um programa com as ferramentas necessárias para a inspeção e diagnóstico das peças em movimento;
- ✓ Testar e realizar a validação de *software*.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

Sabe-se da importância das seringas no tratamento de diversas doenças, sendo assim, é importante que o produto esteja dentro dos padrões de qualidade, proporcionando total e completa segurança na injeção de medicamentos. Portanto, observou-se a necessidade de propor um sistema de visão computacional para garantir a qualidade visual, visto que vários fatores influenciam e impactam diretamente na *performance* deste produto.



A empresa tem no fator qualidade um atrativo para seus produtos da linha médica sendo líder mundial deste segmento a décadas. A deterioração do fator qualidade reflete diretamente na imagem da organização.

Objetiva-se que com a inspeção da qualidade das agulhas, ocorra a redução de reclamações de clientes, a redução do retrabalho de material já embalado, e a não intervenção de lotes inteiros já existentes no mercado, ou seja, os problemáticos *recalls*.

## 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Classifica-se o estudo proposto como de natureza explicativa e bibliográfica tendo como base de fundamentação trabalhos acadêmicos, artigos, monografias, dissertações, revistas, sites, livros e manuais.

As etapas de desenvolvimento do projeto basearam-se primeiro em informações técnicas de especialistas em sistema de visão computacional, ou seja, informações de fabricantes e representantes dos produtos tecnológicos de ponta existentes hoje no mercado. Além disso, também foi necessário informações sobre confiabilidade, e repetibilidade nas inspeções. Isso foi levado em consideração, pois um sistema como esse, terá um custo considerável, portanto o retorno em termos de confiabilidade é fundamental. A etapa de projeto do sistema, ou seja, na concepção do *hardware*, foi idealizada com base no tipo de produto inspecionado, velocidade e periféricos existentes. Foi preciso desenvolver um *hardware*, que se adaptasse ao sistema já existente, justamente porque, existe limitação de espaço físico para montagem dos componentes no painel elétrico, limitação de entradas e saídas digitais no controlador lógico e reduzido espaço para fixação de componentes mecânicos como suportes dos sensores e câmera de inspeção. O sistema de inspeção apresentado na Figura 4 tem as seguintes etapas conforme Feliciano, Leta e Souza (2005). Para a simulação do processo um sistema composto pela câmera de inspeção e computador para parametrização das ferramentas de imagem, foi montado seguindo o fluxo de aquisição, processamento, segmentação. Nos próximos capítulos, esses termos serão abordados com mais profundidade.

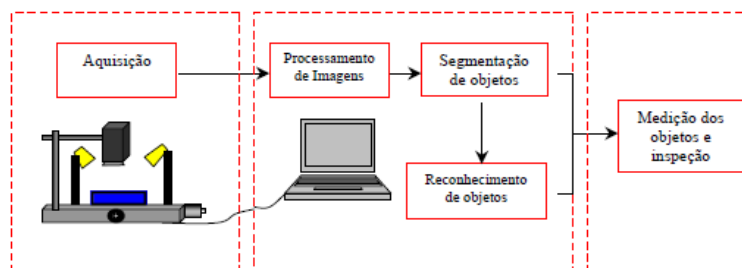


Figura 4 – Etapas do sistema de inspeção  
 Fonte: Feliciano, Leta e Souza (2005)

Após a montagem em bancada, o ensaio do processo teve como base inspeções feitas com o objeto estático. Nesses testes, as ferramentas de imagem foram colocadas de forma a cobrir todas as áreas de interesse. Várias situações de peças defeituosas foram apresentadas ao sistema de inspeção. O equipamento gerou respostas que atenderam as expectativas, portanto, foi aprovado pelo setor de engenharia fabril um ensaio dinâmico na máquina de produção.

Na fase seguinte de desenvolvimento deste trabalho, o *hardware*, foi instalado na máquina montadora de agulhas número 07. Durante um turno de trabalho a máquina inspecionou com total qualidade 400 mil peças. Com base nos resultados positivos, o sistema ficou inspecionando paralelamente com o sistema antigo durante 3 meses. Testes horários feitos pelo operador de processo nesse período tiveram como objetivo “desafiar” o sistema para ver se todas as peças ruins colocadas como prova eram realmente rejeitadas.

A última etapa do projeto é denominada validação do sistema. Nessa etapa, o sistema de inspeção antigo é retirado e o sistema de visão computacional é oficialmente implementado. Vários quesitos do sistema são avaliados como, por exemplo, o *software* desenvolvido para inspecionar e rejeitar o material ruim, funciona corretamente e não tem possibilidade de falhar? Em caso positivo, o sistema é impedido de funcionar até que se tomem medidas para que tudo funcione corretamente dentro dos padrões da companhia e normas correlacionadas ao controle de qualidade.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

De forma sucinta a estrutura do presente trabalho mostrará:

- **Capítulo 1 – INTRODUÇÃO:** Apresenta o tema do trabalho, o problema de pesquisa e as justificativas para a elaboração do trabalho.
- **Capítulo 2 – REFERENCIAL TEÓRICO:** Aborda como foi sendo introduzida a tecnologia de visão computacional no processo de controle de qualidade. Neste capítulo, apresenta-se também uma visão real e genérica sobre o funcionamento dos sistemas de visão industriais, seus tipos, aplicações comuns e benefícios. Outro tópico deste capítulo aborda de forma clara como é feita a análise da imagem e seu processamento, explicando a origem dos termos como *pixels*, *threshold* e segmentação.
- **Capítulo 3 – DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE VISÃO:** Aborda a instalação elétrica e mecânica do sistema de visão, posicionamento dos componentes principais e sua finalidade no processo. É explicado o funcionamento detalhado do sistema de visão desde a entrada do produto, análise e rejeição ou aprovação. Mostra o desenvolvimento da lógica do controlador lógico programável e um modelo teórico para o software de inspeção. Também faz-se um comparativo dos sistemas de visão existentes no mercado, indicando o melhor equipamento que se adequa às necessidades do processo.
- **Capítulo 4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS:** Apresenta usando gráficos os resultados obtidos com a implantação do sistema de visão. Aponta as dificuldades encontradas no desenvolvimento e ajuste do software de controle. Também

mostra uma proposta de melhoria que podem ser feitas no futuro visando aperfeiçoar mais ainda o processo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 HISTÓRICO

As primeiras utilizações registradas do processamento de imagens ocorreram por volta de 1921, onde imagens eram codificadas em 5 níveis distintos de intensidade (sistema Bartlane), a fim de serem enviadas pelo cabo submarino de transmissão que interligava Londres à Nova Iorque (GONZALEZ; WOODS, 2013). A Figura 5 mostra a primeira imagem transmitida pelo sistema Bartlane. Anos mais tarde com o programa espacial americano, o processamento de imagens foi intensamente alavancado e um dos fatores responsáveis foi o surgimento dos computadores de grande porte (MARQUES FILHO; VIERA NETO; 1999).



Figura 5 – Foto transmitida pelo sistema Bartlane em 1921

Fonte: (GONZALEZ; WOODS, 2013)

Segundo Marques Filho e Vieira Neto (1999), as técnicas no aprimoramento de imagens digitais foram aperfeiçoadas por volta de 1964 no *Jet Propulsion Laboratory* (Pasadena, Califórnia, EUA). Lá as imagens enviadas da Lua pela sonda Ranger 7 eram corrigidas devido às distorções da câmera de televisão acoplada a ela. Mais tarde, as técnicas de processamento de imagens também foram usadas nas missões da série Mariner na exploração de Marte e nas missões tripuladas da Apollo na viagem à Lua. Após a década de sessenta, a tecnologia dos sistemas de visão computacional e

processamento de imagens têm sido usada de forma ampla em vários setores. O sistema de visão computacional chegou ao Brasil por volta de 1980 e desde então estudos são feitos para promover avanços visando diminuir os custos dessa tecnologia.

Facon (2005) relata que os sistemas de visão artificial visam com o auxílio de diversas áreas (Biologia, Medicina, Matemática, Eletrônica, Mecânica, Comunicação Visual), obter um conjunto de técnicas e metodologias que possam dar suporte ao desenvolvimento de teorias e produtos eficientes e confiáveis para aplicações práticas. Cita-se como exemplo a automatização dos processos de controle de qualidade, identificação, classificação de produtos, exploração de ambientes e substituição de pessoas em atividades insalubres e perigosas.

## 2.2 O SISTEMA DE VISÃO COMPUTACIONAL

Segundo Coelho *et al.* (2005), as principais operações realizadas no tratamento de uma imagem são mostradas conforme Figura 6

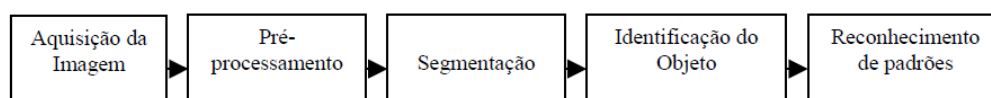


Figura 6 : Sequência do processamento de uma imagem  
Fonte: (COELHO *et al.*, 2005)

A aquisição da imagem, o pré-processamento, a segmentação da imagem, a identificação do objeto e o reconhecimento de padrões são termos clássicos em sistemas com uso de câmeras de inspeção conforme aplicação de (COELHO *et al.*, 2005).

Na etapa de aquisição da imagem, são usados elementos eletroeletrônicos compostos por uma câmera CCD (*Charge Coupled Device*), um monitor de vídeo, um módulo de iluminação frontal (*Frontlight*) ou

iluminação traseira (*Backlight*). Nesse processo o objeto é fotografado pela câmera, (COELHO *et al.*, 2005).

A imagem adquirida pela câmera é então transformada em uma imagem digital sobre a forma de uma tabela de valores inteiros. Esses valores contém informação de intensidade luminosa e são denominados *pixels*. Uma imagem monocromática (preta e branca) é captada por um único sensor que adquire a imagem em escala de cinza. Esse sensor é um canal de 8 *Bits* (*Binary Digit*) podendo ser de 16 ou 32 *bits*. Cada *pixel* recebe um valor de 0 à 255 que corresponde a intensidade luminosa naquele ponto.

A Figura 7 representa a escala de 0 à 255 em tons de cinza. Já uma imagem colorida pode apresentar de 1 à 3 sensores. Independente do número de sensores, as informações de cor serão classificadas em formato RGB, ou seja, vermelho (*red*), verde (*green*) e azul (*blue*). Combinando-se essas cores pode-se obter as outras cores visíveis (MELO; ROLOFF, 2008). O agrupamento de *pixels* forma uma matriz de coordenadas x e y. A função que representa essa matriz de *pixels* é  $f=(x,y)$ . Onde o valor de x e y são inteiros positivos e os valores de f dentro de uma faixa variam de zero a infinito, ou seja,  $0 < f(x,y) < \infty$  (MELO; ROLOFF, 2008).



Figura 7 : Escala de cinza de uma imagem monocromática de 8 *bits*  
Fonte: (MELO; ROLOFF, 2008)

Na sequência aparece o processo de pré-processamento. Essa etapa permite corrigir um certo número de defeitos e imperfeições que aparecem durante a aquisição da imagem, que podem ter como causa características físicas do sistema, deficiência de iluminação (FACON, 2005). Uma das ferramentas que o sistema de visão usa para corrigir possíveis defeitos de imagem durante o pré-processamento é o realce mostrado conforme Figura 8 (STIVANELLO, 2004).



Figura 8: Função de realce da imagem  
 Fonte: (STIVANELLO, 2004)

Conforme estudos de Melo e Roloff (2008), os principais tipos de pré-processamento são: Identidade, Negativo, Logarítmico e Potência, Aritmético Lógico e Detecção de limiares (*Threshold*). Pelo nome é possível associar que essas ferramentas usam funções lógicas e matemáticas para trabalhar a imagem deixando-a pronta para ser analisada. Dentre os pré-processamentos, um dos mais utilizados é a Segmentação ou Detecção de limiares, mais conhecida como (*Threshold*). Essa técnica procura agrupar os diferentes objetos da imagem conforme a similaridade de tonalidade entre eles.

Uma operação define um valor limiar  $T$  para os níveis de intensidade luminosa. Um exemplo seria o de uma imagem com escala de cinza igual a 256 níveis de intensidade luminosa e o valor  $T = 50$ , todas as tonalidades menores que  $T$  ( $f(x,y) < T$ ) receberão valor 0 (zero) binário ou cor preta como tonalidade, ou seja, seria a imagem de fundo. Já para valores de ( $f(x,y) > T$ ) receberão o valor 1 binário ou cor branca (MELO; ROLOFF, 2008). Sendo assim a imagem será binarizada sendo imagem e fundo.

Conforme informações já citadas nos parágrafos anteriores, é possível observar que o processamento da imagem exige muitos recursos de um sistema de inspeção. Memória, capacidade de processamento e armazenamento são solicitados continuamente do sistema. A técnica de (*Threshold*) visa diminuir o esforço do sistema transformando a imagem para uma escala de informações reduzidas, ou seja, separam-se os objetos da imagem (*foreground*) do fundo da imagem (*background*) (COELHO *et al.*, 2005).

Segundo Coelho *et al.* (2005) na sequência do tratamento da imagem, tem-se o processo de Identificação de objetos. Em muitos processos onde o objeto a ser inspecionado tem sua montagem feita em partes, pode ocorrer a



occlusão dos componentes, ou seja, um objeto pode esconder outro tornando o processo de inspeção não satisfatório. Para solucionar esse problema, pode-se criar ferramentas chamadas ROI (*Region of Interest*), essas regiões de interesse na imagem irão ajudar a identificar regiões da imagem onde os objetos de interesse deverão estar ou não no momento da inspeção.

Para que a ferramenta ROI (*Region of Interest*) seja usada de forma correta, é preciso que seja usada outra etapa do tratamento da imagem chamada Reconhecimento de Padrões (COELHO *et al.*, 2005).

Essa etapa trata da identificação das partes da imagem que possuem semelhanças. Em uma linha de produção contínua, no início do processo de inspeção, a câmera deve ter o modelo, ou seja, uma imagem padrão que deverá ser comparada com a imagem do objeto inspecionado. As Figuras 9 e 10 mostram o comparativo de uma imagem padrão com a imagem em tempo real do objeto.



Figura 9: Imagem padrão de um sistema de inspeção  
Fonte: Autoria própria

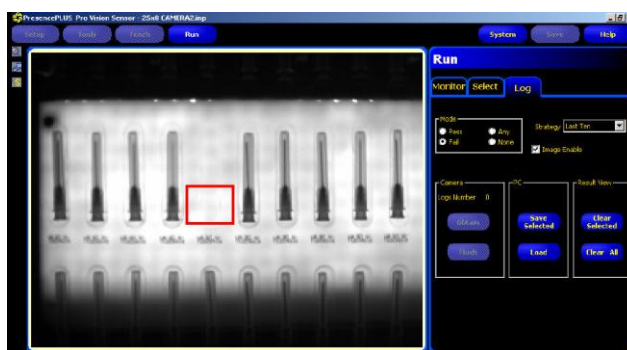


Figura 10: Imagem real do objeto inspecionado  
Fonte: Autoria própria

Comparando as figuras 9 e 10, é possível verificar que a primeira imagem do sistema é o padrão a ser seguido, ou seja, todas as imagens inspecionadas serão comparadas com a imagem tirada em tempo real. Dentro de certos limites especificados, espera-se que a imagem seja igual ou que tenha um percentual de semelhança muito próximo ao padrão. Na segunda imagem aparece um quadrado em destaque. Esse quadrado corresponde a uma ROI (*Region of Interest*) onde é constatado a ausência de um dos objetos. Comparando a imagem capturada pela câmera com o padrão, o resultado é falha no processo, conseqüentemente essas peças serão rejeitadas pelo sistema.

### 3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE VISÃO

#### 3.1 ANÁLISE PRELIMINAR

O sistema de visão foi instalado na estação de inspeção da máquina montadora AGMO07. Nesse setor da máquina existia um sistema de inspeção baseado em sensores de fibra ótica que classificam as peças pela presença ou ausência dos componentes a serem inspecionados. Basicamente é a detecção de resina epóxi do lado direito e esquerdo conforme a Figura 11.

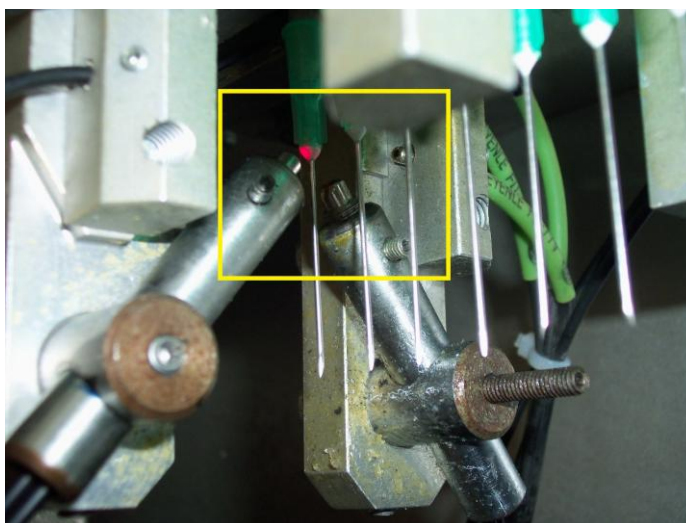


Figura 11: Inspeção de resina epóxi lado direito e esquerdo  
Fonte: Autoria própria

As peças passam pelo sensor que é calibrado ajustando-se a sensibilidade de atuação. O técnico que faz o ajuste do sistema primeiramente aciona a parada da máquina. Na sequência, uma peça considerada boa é colocada em frente aos sensores de fibra ótica, se do lado esquerdo o sensor for acionado, estado lógico 1, a inspeção de resina epóxi do lado esquerdo é aprovada. Se do lado direito o sensor não for acionado, nível lógico 0, e a peça de teste é uma peça de boa qualidade, o sensor deve ser ajustado até ficar em 1. Esse valor irá aprovar a peça. O teste contrário também é feito colocando-se uma peça de má qualidade em frente aos sensores. Em ambos os casos os sensores devem ficar em nível lógico 0, ou seja, sensor desacionado. Nessas condições a peça é reprovada. A Figura 12 mostra os sensores de detecção de resina.

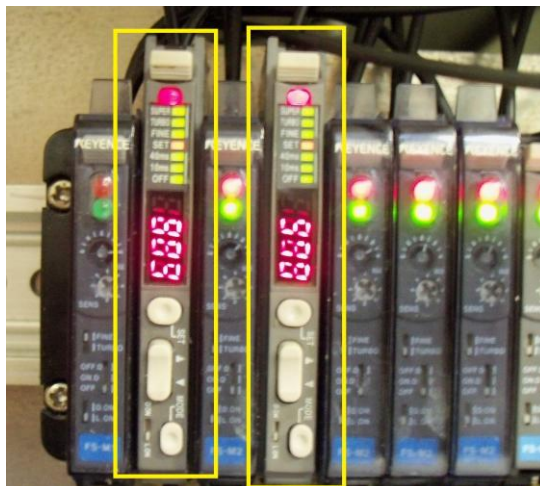


Figura 12: Marcados em amarelo, os sensores de inspeção de resina  
Fonte: Autoria própria

Na estação de Inspeção da máquina AGMO07 no painel do sistema de Inspeção foram instalados os componentes necessários para o correto funcionamento do sistema de visão. Uma das questões levantadas pela engenharia de processo da empresa, foi sobre a funcionalidade e repetitividade do sistema de visão. Para o sistema de produção um fator importante é a garantia de que todas as peças sejam inspecionadas, ou seja, 100% da produção. Para que isso ocorresse, foi necessário um estudo das variáveis que interferem no processo de inspeção. Uma das variáveis do processo é a velocidade com que o material passa pelo ponto de inspeção. Como já comentado anteriormente, as agulhas são montadas em um suporte chamado gradilha. Cada gradilha possui vinte e cinco pinos e em cada pino vai uma agulha montada em uma peça plástica chamada canhão, mais detalhes podem ser vistos na Figura 13.

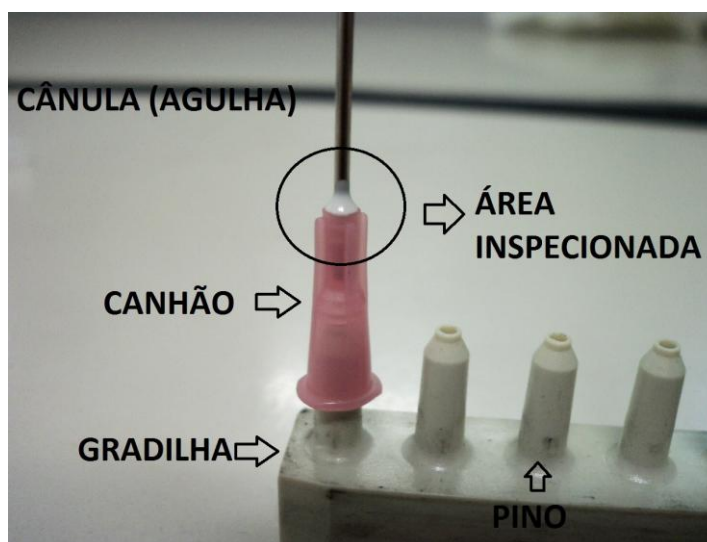


Figura 13: Detalhe de uma gradilha com uma peça  
Fonte: Autoria própria

A relação entre os fatores é calculada levando em consideração a velocidade da máquina e o tempo de inspeção. Se a máquina AGMO07 trabalha com 55 gradilhas por minuto, então dividindo 55 por 60 s, conclui-se que cada gradilha leva cerca de 916 ms para ser inspecionada. Tendo a gradilha 25 pinos, logo cada pino tem 36,7 ms para ser inspecionado. Com base nessa informação do processo, foi necessário especificar uma câmera que conseguisse inspecionar o processo nessa velocidade. Vários fabricantes foram contatados e um deles forneceu o equipamento necessário para um ensaio.

### 3.2 ENSAIO EM BANCADA

Um dispositivo de teste foi montado em uma das bancadas da manutenção elétrica com o objetivo de simular: condições de imagem, foco da câmera, parametrização de ferramentas e facilidade de operação. Esse teste com a gradilha parada foi chamado de teste estático. O equipamento usado no teste estático é mostrado na Figura 14.



Figura 14: Sistema montado para teste  
Fonte: Autoria própria

O sistema montado para o teste com a gradilha parada é constituído de elementos básicos pra um sistema de inspeção computadorizada. Tem-se primeiramente a câmera de visão. Existem dezenas de fabricantes no mercado e foi escolhido um modelo robusto do fornecedor D. A câmera usada no teste é monocromática de 350.000 *pixels* com lente *standart* de 0,29 mm modelo CV-035M. Com esta configuração aliada a uma distância focal de 300 mm foi obtida uma imagem perfeitamente nítida em um monitor de 17". Uma imagem grande e de boa definição é perfeita para aplicação das ferramentas de ROI (*Region of Interest*).

O próximo elemento que compõe o sistema de visão é o *backlight*, composto de uma placa de LEDs, diodos emissores de luz, na cor branca e com dimensões de aproximadamente 46x63 mm modelo CA-DSW3 com 5,8 W de potência. O *backlight* como o próprio nome diz é a luz de fundo, ou seja, a iluminação artificial que fica atrás da peça a ser inspecionada. Essa iluminação fará com que o objeto fique escuro ajudando no realce da peça favorecendo uma das etapas de pré-processamento da imagem denominado *threshold* já comentado no capítulo 2.

A iluminação muito forte ou muito fraca influencia muito nos valores de *threshold*. Isso foi constatado no teste estático já que com potência total da iluminação as primeiras imagens saíram muito claras. Duas possibilidades de correção da iluminação foram indicadas pelo fornecedor. A primeira seria diminuir o tempo de exposição da imagem no momento da aquisição. Isso é feito fazendo o controle de captura da imagem, diminuindo-se o tempo em que

o obturador da câmera fica aberto. Menos tempo aberto irá proporcionar menos luz na imagem fotografada. Mais tempo aberto mais luz na imagem.

Outro método de controle da iluminação é usando um módulo de controle. Esse módulo irá controlar a potência da iluminação dos LEDs e opcionalmente o tempo que os LEDs ficarão acessos. Optou-se em usar o módulo de controle de iluminação modelo CA-DC100 da marca D, por possuir maiores possibilidades de ajuste.

Na sequência tem-se a peça mais importante do sistema que é o módulo controlador da câmera. Foi usado o controlador modelo CV-3002 da marca D. Esse controlador possui entradas eletrônicas para duas câmeras de processo. Isso é uma vantagem, pois futuramente outra câmera pode ser acoplada ao sistema para outros tipos de inspeção. Além disso, possui sistema de processamento triplo que permite que a fase mais pesada da análise da imagem, ou seja, o pré-processamento seja feita de forma rápida e confiável.

Nesse módulo de controle, também se encontram seis entradas digitais e 5 saídas digitais com funções distintas. Isso possibilita desenvolver um programa de inspeção com mais possibilidades de ação física além da rejeição de material ruim, por exemplo. Pode ser usada para acionamento de alarmes, parar a máquina, ligar e desligar equipamentos periféricos, dentre outras funcionalidades.

O módulo CV-3002 também possui comunicação do tipo *Ethernet IP*, com essa função é possível conectar um computador para efetuar a programação do sistema de maneira muito mais rápida do que comumente é feito nas indústrias pela porta *serial* do computador. A comunicação via porta *serial* é extremamente lenta se comparada com a conexão *ethernet* e também pouco confiável. Cartões de memória de até 1 MB podem ser usados para *backup* do sistema ou para o carregamento rápido de outros programas.

Após a aquisição e processamento da imagem, tem-se a última etapa já relacionada ao processo que é a aprovação ou rejeição do material. Como não foi montado um sistema de descarte de material no teste estático em bancada, não foi usado um CLP, portanto, o resultado da inspeção foi observado nos LEDs de saída do módulo de controle da câmera. Quando o CLP estiver integrado ao processo ele funcionará basicamente da seguinte forma: Um sinal de 24 V em corrente contínua vem de uma saída digital do módulo controlador da câmera de visão. Esse sinal de saída do controlador da câmera torna-se

uma entrada digital do CLP. A máquina AGMO07 possui um CLP da marca Omron modelo CQM1H.

O CLP será responsável pelo processamento do sinal binário oriundo do controlador da câmera e conforme uma lógica na linguagem *ladder*, fará a aprovação ou descarte do material. O sinal binário vindo do módulo de controle do sistema de visão é 0 sendo material bom e 1 sendo material ruim. No capítulo 4 será feita uma abordagem mais aprofundada do funcionamento do sistema integrado ao processo com o CLP. Essa simulação em bancada atendeu aos requisitos como ajuste foco da imagem, parametrização de ferramentas ROI e facilidade de operação. Tendo esse sistema sido pré-aprovado pela empresa, um teste na máquina AGMO07 foi efetuado para avaliar a *performance* da câmera de inspeção quanto à velocidade. O teste foi feito colocando-se a câmera em uma das laterais da máquina em uma posição de inspeção. Um sensor foi instalado de forma que quando um dos pinos da gradilha fosse detectado um sinal também fosse enviado ao controlador da câmera ordenando que a câmera fotografe a peça. Esse sensor é comumente chamado de *trigger*.

Em termos mecânicos de instalação, um suporte foi desenvolvido para que a câmera fosse fixada em uma das laterais da máquina mais precisamente na estação de inspeção. O suporte foi construído em alumínio e possibilita a regulagem da posição vertical e horizontal da câmera. Esses ajustes da câmera relacionados à distância são importantes, pois se baseando neles são configuradas as ferramentas de inspeção. Uma vez posicionada a câmera, ela não deve ter sua posição física alterada. Isso irá gerar o deslocamento das ferramentas de inspeção para outras áreas do objeto que não são áreas de interesse. Conseqüentemente todas as inspeções serão perdidas.

A instalação do sistema de visão da inspeção de epóxi na AGMO07 ocorreu no trilho de saída da siliconização, conforme mostrado na Figura 15, onde estavam instalados os sensores de fibras óticas que detectavam presença de epóxi esquerda e direita. Esse local foi escolhido devido a passagem alinhada das gradilhas e com velocidade constante, pois são tracionadas por roldanas e não sofrem interferências de vibrações mecânicas da máquina, garantindo assim uma melhor captura da imagem. As setas na Figura 15 mostram o fluxo do material na máquina.



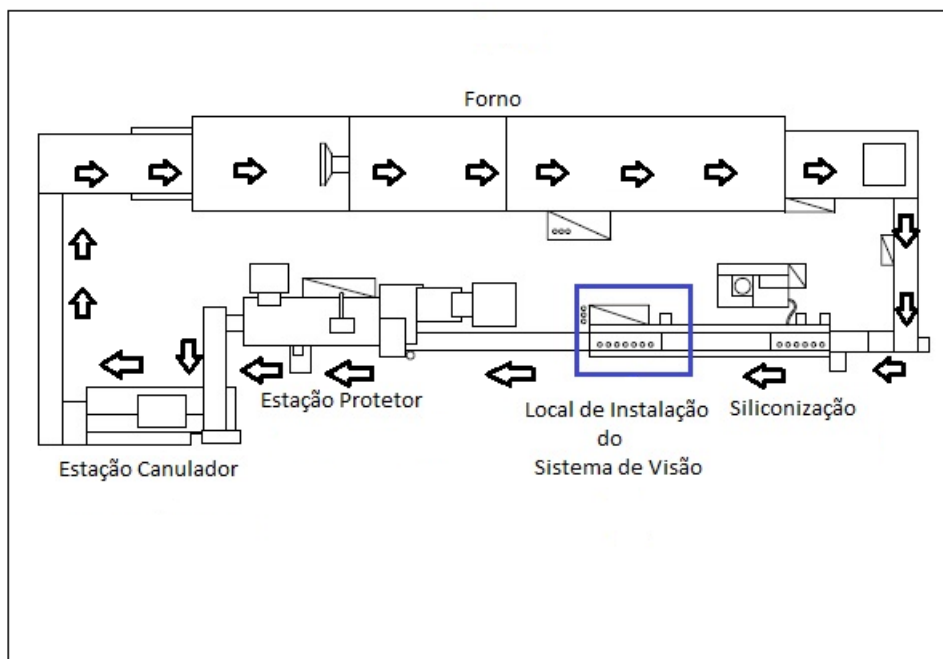


Figura 15: Vista superior da AGMO 07  
 Fonte: Autoria própria

### 3.3 CUSTOS DA IMPLANTAÇÃO

As empresas necessitam de projetos para alcançar ou superar suas metas. O gerenciamento de projetos com ênfase na redução de custos vem sendo um dos mais importantes assuntos relacionados com qualquer empreendimento, principalmente no setor industrial (AYRES et al., 2014).

Na empresa em questão a relação de projeto e custos não foi diferente. Um dos principais itens levados em consideração para implantação do sistema de visão foram os recursos financeiros. Como havia disponibilidade de mão de obra, porém pouco tempo e recursos financeiros, foi necessário traçar uma estratégia de otimização destes, para que eles fossem utilizados de forma adequada.

### 3.4 A ESCOLHA DO EQUIPAMENTO

Depois de verificadas as condições físicas da máquina onde o sistema de visão seria instalado, foram levantadas as informações de qual equipamento melhor atenderia as necessidades. Foram considerados os custos da câmera e acessórios, a facilidade de desenvolvimento do *software* de controle, a flexibilidade de conexão com outros equipamentos, a precisão e a repetitividade.

Em outubro de 2013, foram avaliadas diversas câmeras dentre elas modelos consagrados dos fabricantes A, B, C e D. A primeira câmera avaliada foi a do fornecedor americano A. O equipamento é do modelo *In-sight Micro* e o fabricante forneceria o equipamento pelo valor de R\$ 65.000,00. A avaliação desse equipamento foi positiva em termos de precisão e repetitividade, porém, na questão de facilidade de programação, custos do sistema e peças sobressalentes, ela não atendia as expectativas e tornou-se inviável. A Figura 16 mostra a câmera do fabricante A.



Figura 16: Câmera do fabricante A  
Fonte: Autoria própria

Avaliando o fabricante B, líder em sistemas pneumáticos, foi possível perceber que a câmera modelo SBOI-Q-R1B também não mostrava-se apta ao nosso projeto. Primeiramente porque são necessários dois *softwares*. Um para abrir o canal de comunicação *Ethernet*, coisas que os outros fabricantes têm como função *standard*. E outro aplicativo para criação e edição do programa de inspeção. Em segundo lugar, o *software* mostrou-se complicado demais

para o entendimento dos técnicos, além de não dispor de ferramentas adequadas e flexíveis para desenvolvimento de um programa de inspeção coerente. O fabricante conseguiria fornecer o equipamento ao custo de R\$ 27.000,00. Um preço atrativo, entretanto, pelos poucos recursos oferecidos foi descartado. A Figura 17 apresenta a câmera do fabricante B.



Figura 17: Câmera do fabricante B  
Fonte: Autoria própria

Na sequência avaliou-se o equipamento do fabricante C, o qual possui a câmera modelo *IVC-2DM1112*. De início, teve-se uma boa impressão deste equipamento, porém, ao entrarmos em questões relacionadas às velocidades de inspeção, observou-se que o equipamento não atenderia as nossas necessidades. Para evitar possíveis transtornos relacionados à falta de *performance* do sistema, a câmera B saiu da lista de possíveis fornecedores, apesar de também estar com um preço atrativo, R\$ 36.854,00. Detalhes da câmera do fabricante Sick podem ser vistos na Figura 18.



Figura 18: Câmera do fabricante C  
Fonte: Autoria própria

O último fabricante de câmeras avaliado foi a japonesa D, a qual apresentou a câmera modelo CV-035M com a qualidade da imagem monocromática de 350.000 *pixels*. Além disso, as ferramentas para desenvolvimento do aplicativo mostraram-se amigáveis aos técnicos de manutenção. Os fatores como repetitividade, velocidade e flexibilidade de interligação com outros equipamentos do processo sem a necessidade de adendos, foram os motivos que motivaram a escolha deste fabricante como fornecedor da câmera para o sistema de visão.

Outra característica que colocou este equipamento na frente dos concorrentes foi que o módulo de inspeção permite o uso de mais uma câmera, ou seja, pode-se desenvolver aplicações diferentes na mesma máquina usando duas câmeras no mesmo módulo de inspeção. O equipamento e seus respectivos acessórios como o módulo de inspeção, cabeamentos, conectores, módulo *backlight* e fonte foram fornecidos ao custo total de R\$ 38.073,00. Considerou-se esse valor compatível com as possibilidades oferecidas pelo equipamento. A Figura 19 mostra a câmera do fabricante D.



Figura 19: Câmera do fabricante D  
Fonte: Autoria própria

Além do custo do equipamento de visão, outros gastos também foram contabilizados. Foi utilizada mão de obra do departamento de engenharia fabril mais especificamente dos setores de manutenção eletroeletrônica, manutenção mecânica e serviços de usinagem. O Quadro 1 mostra os valores aproximados de horas trabalhadas dos setores envolvidos e também os custos de materiais elétricos e mecânicos utilizados.

<b>CUSTOS DE MÃO DE OBRA</b>	<b>TEMPO</b>	<b>R\$</b>
Mão de obra Mecânica	960 h	15.360,00
Mão de obra Eletroeletrônica	1280 h	24.320,00
Mão de obra de usinagem (interna)	500 h	8.000,00
<b>Custo Total Mão-de-obra</b>	<b>---</b>	<b>47.680,00</b>
<b>CUSTOS DE MATERIAIS</b>		
Materiais mecânicos	---	8.000,00
Materiais eletroeletrônicos	---	60.000,00
<b>Custo Total Material</b>		<b>68.000,00</b>
<b>CUSTO TOTAL R\$</b>		<b>115.680,00</b>

Quadro 1: Custos da implantação  
Fonte: Autoria própria

### 3.5 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE VISÃO

Neste item será exemplificado o funcionamento detalhado do sistema de visão desde a entrada do produto, análise e rejeição ou aprovação. No mesmo capítulo também serão feitos os detalhamentos da lógica do CLP e um modelo teórico para o software de inspeção.

O sistema de inspeção especificado e utilizado para a montadora de agulhas AGMO\_07 com velocidade de 55 gradilhas por minuto realiza inspeções aproximadamente a cada 36 ms e envia sinais para o CLP\_CQM1H.

As entradas e saídas utilizadas para o módulo CV-3002 e para o CLP\_CQM1H estão discriminadas no Quadro 2.

CLP_CQM1H	Módulo CV – 3002
<b>Entradas</b>	
0.02 - Referência de Posição de Inspeção	Trigger (Disparo para início de inspeção)
0.03 - Resultado de Aprovado / Reprovado	
0.09 - Sensor presença de Gradilha na Rejeição	
0.10 - Sensor presença de Pino na Rejeição	
0.12 - Sensor presença de Gradilha na Inspeção	
0.13 - Câmera Inspeccionando	
<b>Saídas</b>	
100.07 - Acionamento do Cilindro de Rejeição	STO (Referência de posição)
	OUT_01 (resultado - Aprovado / Reprovado)
	Câmera em modo Run
<b>Sinais enviados das saídas do Módulo CV – 3002 para as entradas do CLP_CQM1H</b>	
0.02 - Referência de Posição de Inspeção	← STO (Referência de Posição)
0.03 - Resultado de Aprovado / Reprovado	← OUT_01 (Resultado)
0.13 - Câmera Inspeccionando	← Câmera em modo Run

Quadro 2: Entradas/Saídas do CLP\_CQM1H e do módulo CV-3002

Fonte: Autoria própria

O início da inspeção de uma gradilha contendo 25 agulhas ocorre quando o sensor de presença de gradilha estiver acionado e o sensor de *trigger* detectar o primeiro pino da gradilha, que no caso envia um pulso para

o módulo de entradas e saídas do sistema de visão para iniciar a captura de imagem, conforme mostrado na Figura 20.

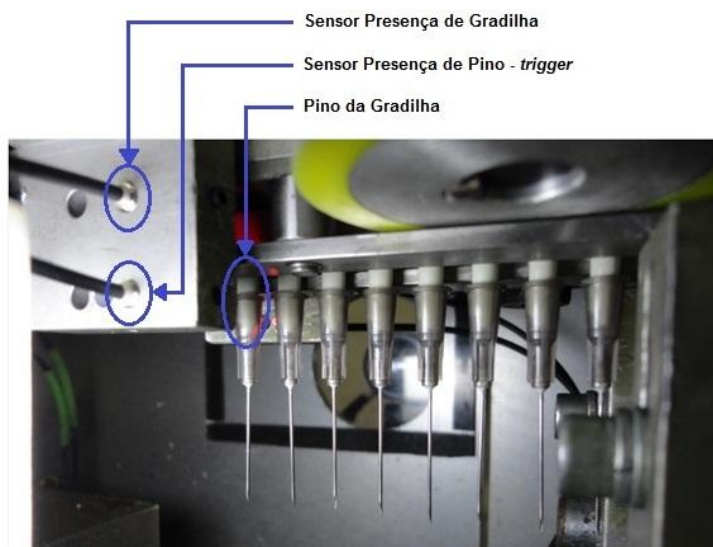


Figura 20: Sensores do Sistema de Visão  
Fonte: Autoria própria

Assim que o módulo de controle recebe o pulso do sensor de *trigger*, que no caso a detecção do pino da gradilha, ocorre a abertura do obturador da câmera para aquisição da imagem e acionamento do *backlight*, na sequência o processamento, as ferramentas de buscas localizam as áreas pré-definidas da imagem, a mesma pode ser visualizada em um monitor, um pulso é gerado para o CLP de aprovação ou descarte da agulha.

As ferramentas utilizadas para inspeção do epóxi, cânula e canhão são mostradas na Figura 21, onde na primeira coluna foi dado o nome para cada ferramenta e na segunda coluna os tipos de ferramentas que foram utilizadas.

W000:Canula_01	Edge position
W001:EPOXI_01	Area
W002:EPOXI_02	Area
W003:Canula_02	Edge position
W004:EPOXI_03	Edge position
W005:Aba_Canhao	Edge position
W006:PRES.PECAS	Area
W008:EPOXI_04	Intensity
W010:Aba_Canhao_	Edge position

Figura 21: Ferramentas do Sistema de Visão  
Fonte: Autoria própria

As principais ferramentas utilizadas do sistema de visão são mostradas na Figura 21 na coluna da direita, sendo elas:

***Edge Position*** - Essa ferramenta de medição permite localizar a posição de uma borda específica, na qual a detecção baseia-se nas transições do claro ao escuro (ou escuro à luz) e não com base em um valor absoluto da intensidade, portanto ela é menos afetada por flutuações de iluminação;

**Área** - É uma ferramenta para detectar o número de pixels em uma determinada área, apresenta uma janela para inserir o valor do limite inferior e superior da área a ser inspecionada;

***Intensity*** – Esta ferramenta pode medir o máximo, mínimo, média e o desvio na medida de intensidade em tons de cinza em um nível de 0 a 255 para cada pixel, dentro da área de medição. Esta ferramenta é eficaz na detecção de presença ou ausência de peças, baseando-se na diferença de intensidade entre a parte de fora e o plano de fundo.

Após a aquisição da imagem, a tela referente às ferramentas da inspeção modifica-se e utiliza-se o plano cartesiano para visualização das imagens. Os pontos de referência do eixo “X” e “Y” mostrados na Figura 22, são referenciados pelas ferramentas da coluna da esquerda.

Assim que obtidos esses pontos, as ferramentas da coluna da direita vão ser alinhadas para a detecção de bordas, áreas e intensidade de uma determinada região da imagem.



Tool Reference	Axis	Target Reference
W000:Canula_01	X	W001:EPOXI_01
W003:Canula_02	X	W002:EPOXI_02
W005:Aba_Canhao	Y	W001:EPOXI_01
W005:Aba_Canhao	Y	W002:EPOXI_02
W000:Canula_01	X	W004:EPOXI_03
W000:Canula_01	X	W006:PRES.PECAS
W005:Aba_Canhao	Y	W004:EPOXI_03
W000:Canula_01	X	W008:EPOXI_04
W005:Aba_Canhao	Y	W008:EPOXI_04
W010:Aba_Canhao_00	X	W005:Aba_Canhao
W005:Aba_Canhao	Y	W000:Canula_01
W005:Aba_Canhao	Y	W003:Canula_02

Figura 22: Referência do eixo “X” e “Y” das ferramentas  
 Fonte: Autoria própria

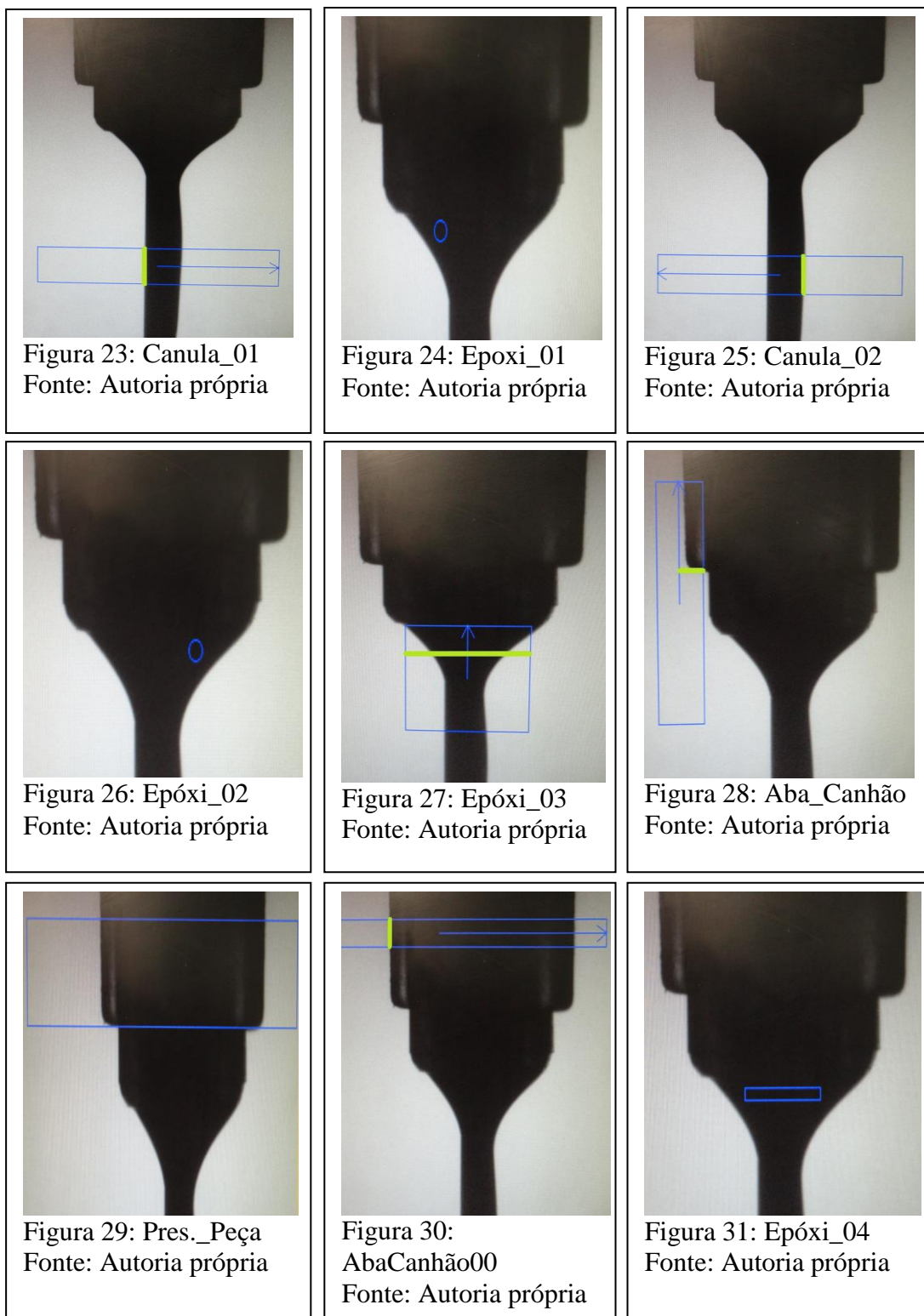
A posição da ferramenta Canula\_01 é mostrada na Figura 23 na qual a ferramenta do sistema de visão *Edge Position* localiza a borda da esquerda para direita da cânula e referencia o eixo “X” da ferramenta Epoxi\_01 da Figura 24.

A imagem da posição da ferramenta Canula\_02 é mostrada na Figura 25, na qual o *Edge Position* localiza a borda da direita para esquerda da cânula e o eixo “X” da ferramenta Epoxi\_02 da Figura 26.

A posição da ferramenta Aba\_Canhão é mostrada na Figura 28, na qual o *Edge Position* referencia o eixo “Y” para as ferramentas de Canula\_01/02 e Epóxi\_01/02/03/04.

A posição da ferramenta Presença de Peça é mostrada na Figura 29, na qual detecta a presença ou ausência do canhão na área especificada.

A posição da ferramenta AbaCanhão00 é mostrada na Figura 30, na qual o *Edge Position* referencia o eixo “X” para a ferramenta Aba\_Canhão.



O processamento das imagens mostradas nas Figuras 23 à 31, têm um resultado verdadeiro ou falso para cada ferramenta utilizada.

Quando ocorrer a reprovação, envia-se um pulso de 24 V<sub>CC</sub> da saída OUT\_01 (Resultado de Inspeção) do módulo CV-3002 para a entrada 0.03 (Resultado de Aprovado/Reprovado) do CLP\_CQM1H e para cada inspeção

final é mandado um pulso da saída STO (Referência de Posição) do módulo CV-3002 para a entrada 0.02 (Referência de Posição de Inspeção) para o CLP\_CQM1H.

A lógica do CLP\_CQM1H armazena em uma memória utilizando duas palavras que contêm 32 bits, devido ao número de inspeções serem iguais a 25 para cada gradilha. Após a gradilha ser inspecionada pelo sistema de visão, ela entra na estação de rejeição, conforme mostrado na Figura 32. Nesse local existe um cilindro pneumático de rejeição, o qual descarta as agulhas que foram reprovadas pelo sistema de visão, conforme o resultado da memória utilizada no momento das inspeções.



Figura 32: Estação de rejeição  
Fonte: Autoria própria

Pode-se observar na Figura 33 o resultado do processo de inspeção e rejeição de agulhas para uma gradilha. Na primeira etapa, descrita como Estação de Inspeção, ocorre às aquisições das imagens e processamentos, sendo os resultados, de aprovado/reprovado do sistema de visão, enviados para o CLP depois de cada inspeção.

Após o recebimento dos resultados, os dados serão armazenados em uma memória e utilizados na segunda etapa do processo descrita como Estação de Rejeição para o descarte das agulhas que foram reprovadas.

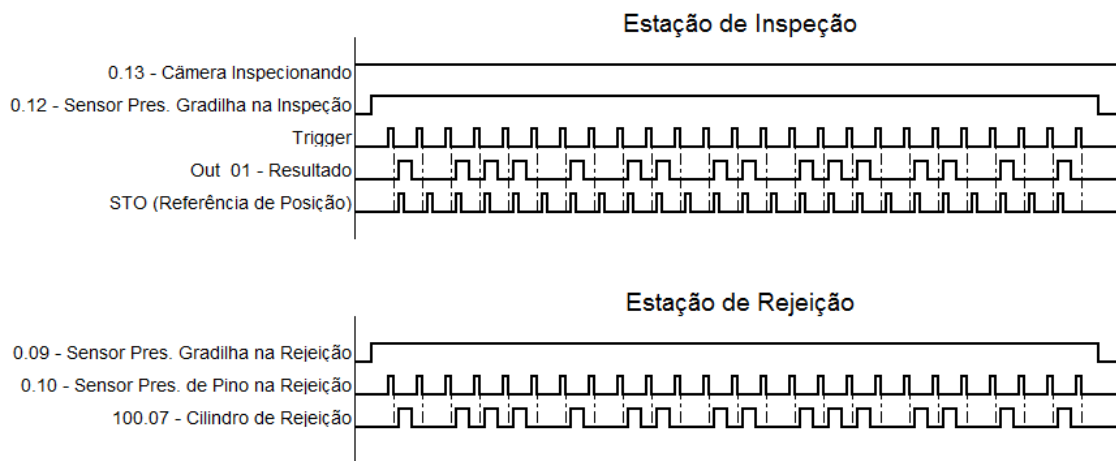


Figura 33: Sinais do módulo CV-3002 e CLP\_CQM1H  
Fonte: Autoria própria

## 4 ANÁLIOSE DOS RESULTADOS

O objetivo inicial deste trabalho era inicialmente desenvolver uma proposta de implantação de um sistema de visão computacional aplicada ao controle de qualidade. Com o passar do tempo e também pela necessidade da empresa em resolver alguns problemas urgentes de qualidade, o trabalho deixou de ser proposta para realmente virar projeto e efetivamente ser implantado.

Vários benefícios foram obtidos com a implantação do sistema de visão computacional. Destaca-se uma maior confiabilidade no processo de produção. Com a implementação tem-se certeza de que todas as agulhas são inspecionadas, deixando assim de confiar a inspeção de qualidade dos produtos a sensores que podem falhar e também que necessitam de ajustes constantes. As Figuras 34, 35, 36 e 37 mostram o sistema de visão computacional instalado.



Figura 34: Visão geral do SV  
Fonte: Autoria própria

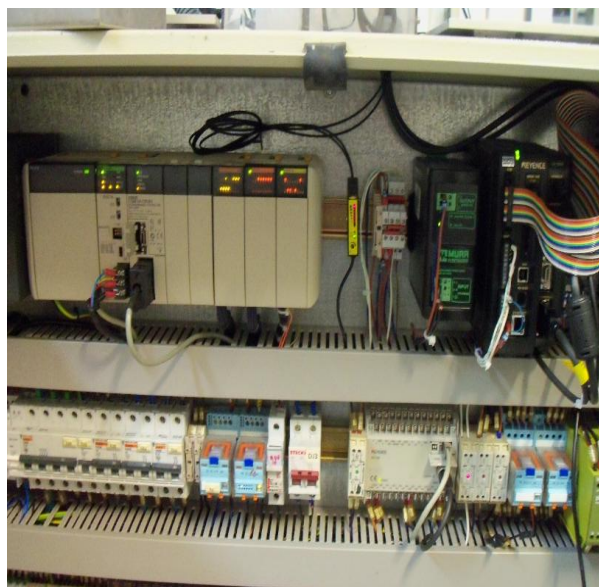


Figura 35: Detalhe interno do painel  
Fonte: Autoria própria





Figura 36: Sistema em funcionamento  
Fonte: Autoria própria



Figura 37: Câmera instalada  
Fonte: Autoria própria

Outro benefício do sistema de visão está relacionado ao *downtime* de máquina. Como o sistema de visão é adaptativo, ou seja, ao se trocar de produto o sistema identifica o processo e faz um auto ajuste baseando-se nas características físicas das agulhas inspecionadas. Isso faz com que ajustes eletroeletrônicos de sensores e mecânicos como guias e bi longos seja completamente desnecessário evitando assim longas paradas para a operação de *setup*.

Também houve ganhos na parte de mão-de-obra operacional. Os engenheiros de processo puderam redistribuir algumas atividades aos operadores já que o tempo de *check-up* do sistema de inspeção deixou de ser feito a cada 20 min e passou a ser feito a cada duas horas em amostragens bem menores.

Ocorreu uma diminuição expressiva de reclamações de clientes sobre o produto. Como 100% dos materiais produzidos são inspecionados, os índices de peças defeituosas por milhão de unidades produzidas estão em números extremamente baixos conforme o Gráfico 1.

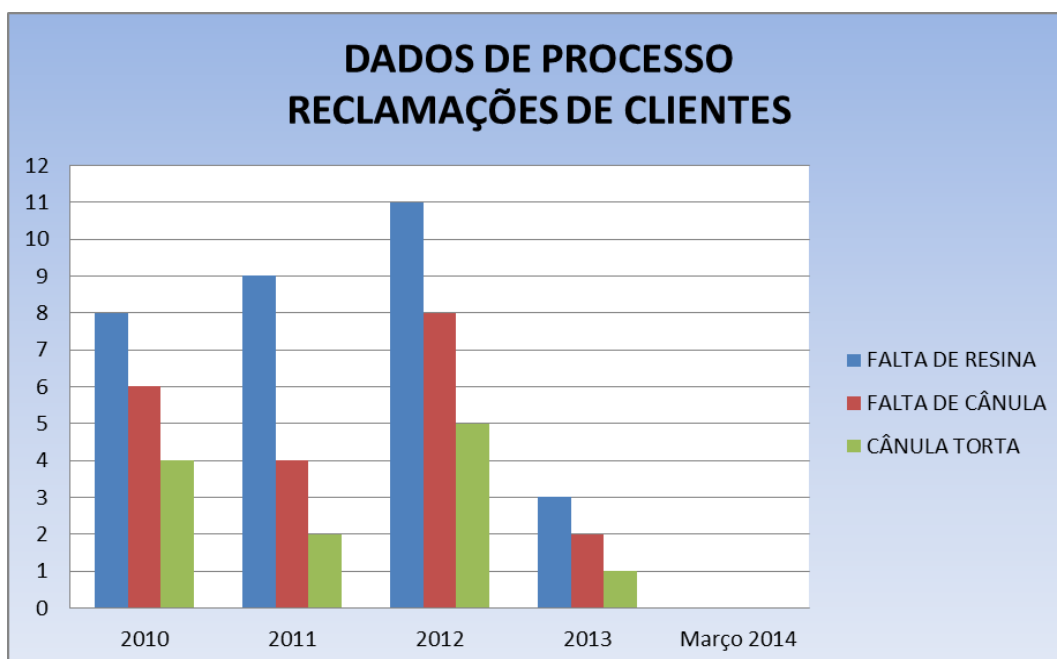


Gráfico 1: Índices de reclamações

Fonte: Autoria própria

As perdas anuais também foram reduzidas, conforme o Gráfico 2.

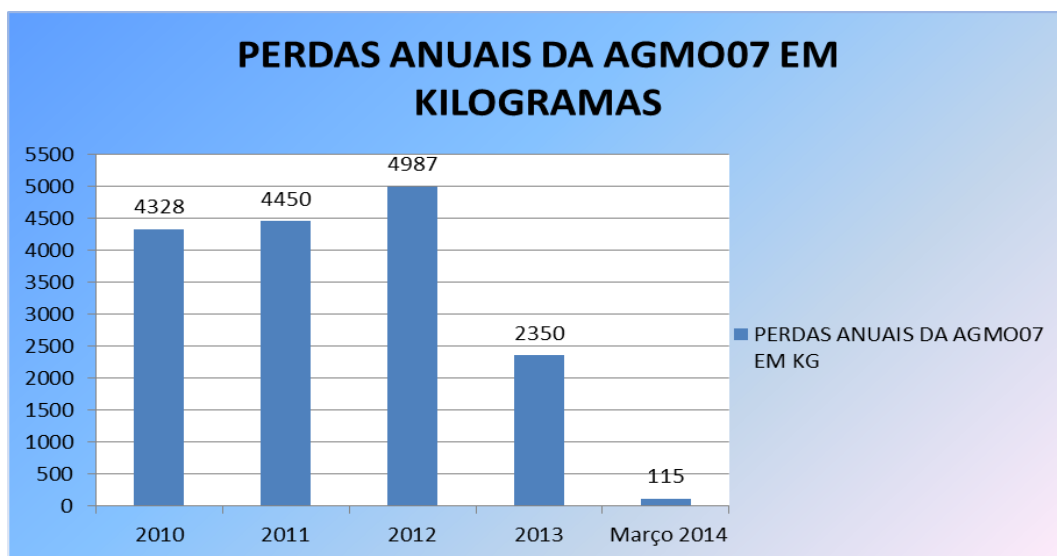


Gráfico 2: Perdas anuais da AGMO07

Fonte: Autoria própria

Já que todas as peças são inspecionadas e realmente só as peças ruins são descartadas, obteve-se um aumento de produtividade, pois eliminou-se o descarte de material como “falso rejeito”. Isso quer dizer que dificilmente um material bom será tido como reprovado o que já não acontecia com o sistema anterior que tinha a inspeção baseada em sensores de fibra ótica.

Com base nas informações positivas acerca da implementação do sistema de visão computacional aplicado ao controle de qualidade obteve-se o sucesso. Isso faz com que a empresa firme seu papel perante os consumidores oferecendo um produto de altíssimo nível desenvolvido dentro de padrões nacionais e internacionais de qualidade.

Outra consideração importante está relacionada ao uso da automação no aperfeiçoamento dos processos industriais. A automação neste projeto proporcionou segurança, precisão e flexibilidade, fazendo com que os operadores trabalhem em tarefas mais nobres, menos cansativas e perigosas. A automatização de processos mostra que é possível aliar tecnologia ao trabalho humano sem ultrapassá-lo, cumprindo assim uma de suas funções principais que é o auxílio ao desenvolvimento da sociedade.

#### 4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observando a necessidade da empresa em fornecer produtos de qualidade ao mercado, conseguiu-se implantar um sistema de visão eficiente, usando um excelente equipamento de inspeção existente no mercado, que atendeu plenamente nossas especificações quanto a robustez, confiabilidade e repetibilidade.

Com ajuda do fabricante que forneceu o equipamento para um teste preliminar, foi ensaiado em bancada o funcionamento do sistema de visão. Efetuaram-se testes de leitura, luminosidade, distância focal e velocidade de processamento. Os resultados positivos mostrados nos testes ajudaram a escolher o modelo CV-3002 como equipamento de visão computacional a ser aplicado na máquina montadora de agulhas. A Figura 38 apresenta o teste preliminar feito em bancada.



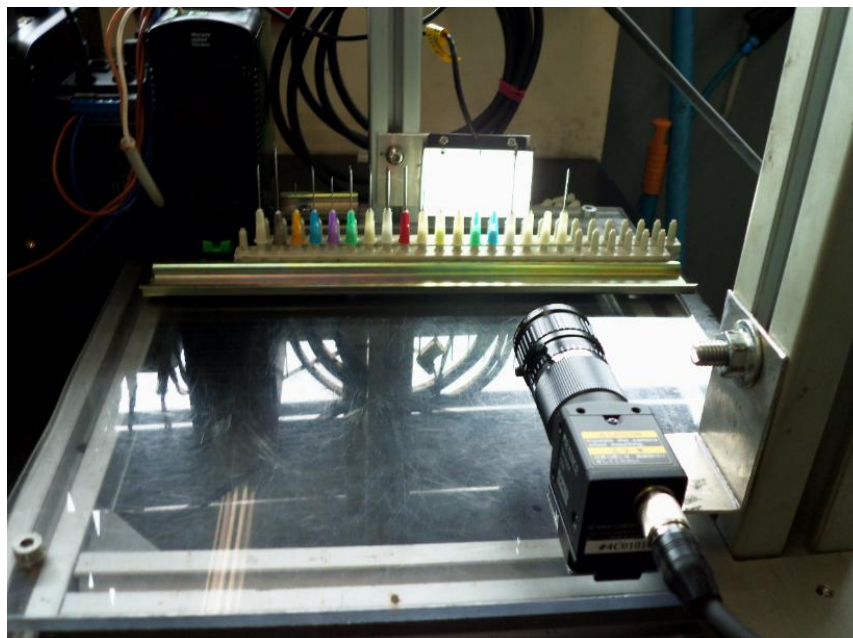


Figura 38: Teste preliminar em bancada  
Fonte: A autoria própria

Com ajuda da equipe da manutenção mecânica, usinagem e desenho, foi desenvolvido com sucesso uma estrutura física que suporta todo o aparato eletroeletrônico como por exemplo, a câmera de inspeção, sensores, *backlight* e o monitor de vídeo. Usando o *software* de programação do CLP implantaram-se modificações na lógica de controle da máquina, que proporcionou o correto funcionamento do processo de leitura, inspeção, aprovação e ou descarte das agulhas inspecionadas.

Trabalhando com o *software* de desenvolvimento da aplicação de inspeção, foi desenvolvido um programa de análise da imagem que comporta várias ferramentas necessárias para o diagnóstico dos problemas relacionados à aplicação de resina epóxi, cânula torta e ausência de cânula. Tendo com isso atendido plenamente as necessidades da produção.

Após a instalação do sistema de visão computacional, testes foram realizados pela equipe do setor de qualidade da empresa. Esses testes foram executados conforme documentos internos que se baseiam em normas nacionais e internacionais de qualidade aplicada a produtos hospitalares. Quando o equipamento foi liberado pela equipe de manutenção iniciou-se o processo de validação.

O teste de validação foi iniciado no dia 20/08/2013 no 1º turno de produção e foi finalizado no dia 21/08/2013 no 2º turno. Durante os testes

foram coletadas amostras de 13 peças a cada 50.000 peças produzidas para serem realizados as análises e confrontar os resultados com os critérios estabelecidos em um documento denominado protocolo de validação. No protocolo de validação estão descritos os valores técnicos que cada peça deve apresentar após a análise. Os parâmetros de análise são volume de resina epoxi aplicada, paralelismo da cânula e teste de tração entre a cânula e o canhão plástico.

Os resultados dos testes de validação foram bem sucedidos, tendo como consequência a liberação do sistema de visão computacional para o uso da produção.

Durante o processo desenvolvimento do projeto ocorreram algumas dificuldades. Uma delas está ligada a falta de conhecimento em trabalhar com sistemas de visão. Como é uma tecnologia nova na empresa, o processo de entendimento do sistema de visão bem como o uso de suas ferramentas e possibilidades foi um tanto penoso no início. Quando chegou-se a etapa de desenvolvimento do *software*, como não havia nenhum treinamento, buscaram-se as informações e o conhecimento necessário nos manuais técnicos dos equipamentos tendo assim a possibilidade de criar um programa de inspeção extremamente confiável.

Entretanto após o terceiro dia de instalação, a engenharia de produção questionou quanto tempo a máquina ficaria parada para concluir a instalação. Foi solicitado mais um dia, pois, havia dificuldades na integração de alguns sinais do módulo de inspeção com o CLP. Algumas horas depois, com auxílio de um técnico de automação interno um pouco mais experiente, conseguiu-se compreender a lógica de deslocamento do CLP e finalizar a programação com sucesso.

## 4.2 TRABALHOS FUTUROS

Como comentado no item 3.3, a escolha do equipamento de visão da marca D também foi feita tendo em vista a possibilidade de instalação de mais uma câmera de visão no mesmo módulo de controle. Isso permite que seja possível fazer o uso de mais um sistema de visão para eliminar

um outro problema que ocorre na montagem de agulhas que é o entupimento das cânulas.

As cânulas podem ser obstruídas no seu processo de fabricação, ou seja, no momento em que são cortadas os resíduos de aço oriundos do corte podem ficar presos no furo deixando-o completamente fechado. Outra possibilidade de entupimento é quando o operador desembala o material para coloca-lo na capela de alimentação da máquina. Nesse instante podem ficar resíduos de resina nas mãos do operador e que podem cair sobre as agulhas entupindo-as.

A empresa não possui índices relevantes desse tipo de defeito, porém, já foi detectado diversas vezes por clientes que no momento da aplicação de medicamentos observaram que o líquido não fluía pela agulha.

A idéia de inspecionar o entupimento consiste em projetar um feixe de luz através do orifício da agulha, na sequência, se a cânula estiver desentupida, o ponto de luz aparecerá em uma área escura sendo detectado pela câmera. Se a cânula estiver obstruída esse ponto luminoso não aparecerá, senso assim, essa peça será descartada. A Figura 39 mostra um modelo do sistema de inspeção de entupimento a ser projetado.

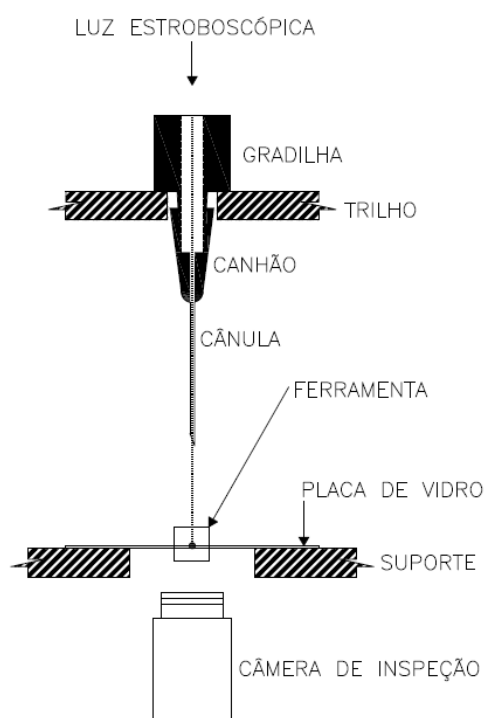


Figura 39: Sistema de inspeção de entupimento  
Fonte: Autoria própria

## REFERÊNCIAS

- AYRES, Anselmo Nogueira; MANFRINATO, Jair Wagner de Souza; ROSA, Cyntia Watanabe. **Estudo de caso: Gerenciamento de projetos com ênfase na redução de custos.** UNESP, 2014.
- BORGES, Paulo Sérgio da Silva; BUENO, Marcelo Lemos; STEMMER, Marcelo Ricardo. **Inspeção visual automática de peças cerâmicas via inteligência artificial.** *Cerâmica Industrial*. V.5, n.5, set/out. 2000.
- COELHO, Leandro dos Santos; JUNIOR, Osíris Canciglieri; RUDEK, Marcelo. **Visão computacional aplicada a sistemas produtivos: Fundamentos e estudo de caso.** PUCPR/LAS/CCET, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Laboratório de Automação e Sistemas. Curitiba-PR, 2005
- CHAVES, Luciano Lucindo; MARTINS, Flavius Portella Ribas. **Aplicação de aprendizado de máquina na inspeção visual de placas de circuito impresso.** *CIBIN 8*, 8º Congresso Iberoamericano de engenharia mecânica, 2003.
- FACON, Jacques. **Processamento e análise de imagens.** PUCPR, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curso em Mestrado em Informática Aplicada, 2005.
- FELICIANO, Flávio; LETA, Fabiana; SOUZA, Igor L. de. **Visão computacional aplicada à metrologia dimensional automatizada: Considerações sobre sua exatidão.** *ENGEVISTA*, V.7, n.2, p. 38-50, dezembro 2005.
- GONZALEZ, Rafael C.; WOODS, Richard E.; **Digital Image Processing.** Second edition, Prentice Hall publisher, Upper Sadle River, New Jersey, 2013.
- MARQUES FILHO, Ogê; VIEIRA NETO, Hugo. **Processamento Digital de Imagens.** Rio de Janeiro: Ed. Brasport Livros e Multimídia, 1999.
- MELO, Daniel Frizke Ferreira de; ROLLOF, Mário Lúcio. **Pesquisa e desenvolvimento de sistemas inteligentes baseados em visão artificial para aplicação em dispositivos robóticos/ou mecatrônicos.** INDUSCOM, VIII Conferência internacional de aplicações Industriais, Poços de Caudas.17 à 20, agosto 2008.
- STIVANELLO, Maurício Edgar. **Inspeção industrial através de visão computacional.** 2004. 2-38. (Trabalho de conclusão de curso), Curso de Ciência da Computação - Bacharelado, Universidade Regional de Blumenau-SC, Blumenau, 2004.