

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE AUTOMAÇÃO E SISTEMAS**

Pedro Henrique Setti Inoue

**Título: Especificação e implementação de uma
solução para verificar falta de cola em sacos
industriais.**

Florianópolis
2017

Pedro Henrique Setti Inoue

**Título: Especificação e implementação de uma
solução para verificar falta de cola em sacos
industriais.**

Relatório submetido à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a aprovação na disciplina **DAS 5511: Projeto de Fim de Curso** do curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador(a): Prof. Marcelo Ricardo Stemmer

Florianópolis
2017

Pedro Henrique Setti Inoue

**Título: Especificação e implementação de uma
solução para verificar falta de cola em sacos
industriais.**

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina DAS5511: Projeto de Fim de Curso e aprovada na sua forma final pelo Curso de Engenharia de Controle e Automação.

Florianópolis, 30 de Março de 2017

Banca Examinadora:

Jonatan da Maia
Orientador na Empresa
Sensorville Eletro Eletrônica e Automação

Prof. Marcelo Ricardo Stemmer
Orientador no Curso
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Daniel Costa Ramos
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Eduardo Delagnelo Barbeta
Debatedor
Universidade Federal de Santa Catarina

Conrado Viveiros Jordan
Debatedor
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer meus pais, Nilson Fukaya Inoue e Renata Atayde Setti, e minha irmã, Camila Setti Inoue, pela motivação, e por terem me guiado para mais uma conquista. Aos amigos e à Luana Goulart, que me incentivaram e me encorajaram em momentos difíceis.

Gostaria de agradecer à Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC e a Sensorville, por terem proporcionado estrutura de qualidade para o bom desenvolvimento de minhas atividades como estudante e estagiário.

E por fim, aos professores, por terem me proporcionado esses anos de aprendizagem e que sem eles a transmissão do conhecimento teria um caminho bem mais longo e exaustivo. Em especial o Prof. Marcelo Ricardo Stemmer, por ter me orientado com maestria.

RESUMO

O Grupo Sensorville atende o setor industrial, oferecendo sensores para automação, para solucionar e melhorar processos industriais. O trabalho realizado durante os 6 meses teve foco em solucionar problemas encontrados na indústria, utilizando produtos ofertados pela Sensorville para melhoria de processos, sendo realizado em diversas empresas de Santa Catarina. Com especialização em sistemas de visão computacionais, foram feitos estudos para mais de 20 projetos, em mais de 10 empresas. O projeto escolhido como foco de estudo foi realizado em parceria com a Klabin, pois ele foi de grande importância para ambos. O problema descrito neste relatório resume-se em verificar a presença de cola em papéis de sacos industriais que estão sendo fabricados. Primeiramente a Klabin pediu os serviços da Sensorville para desenvolver uma solução para o problema encontrado. Visitas foram feitas para recolher informações, e possíveis soluções começaram a surgir. A melhor delas foi a implementação do sistema de visão. Após testes em laboratório e in loco, o sistema final foi implantado. Algumas dificuldades foram enfrentadas até a solução final ser implementada, como problemas operacionais, flexibilidade dos produtos, posicionamento do sistema na máquina, entre outros. Treinamentos foram feitos para os operários das máquinas, deixando-os aptos para configurar o sistema de acordo com a necessidade. Os resultados relatados pelo cliente foram satisfatórios, o que gerou uma relação de parceria entre as empresas. Por fim, com a aplicação instalada gerou-se relatórios de desempenho do sistema proporcionando a análise financeira final do processo, a qual apresentou excelentes resultados.

Palavras-chave: Sistema de visão computacional. Presença de cola em sacos industriais. BANNER.

ABSTRACT

The Group Sensorville attend the industrial sector, offering sensors for automation to solve and improve industrial processes. The work done during the 6 months of internship had its focus in solving problems found in industry, using products offered by Sensorville to improve the processes, work done in several companies of Santa Catarina. Studies were done for more than 25 projects, in more than 10 companies. The project chosen to study was done in association with Klabin, because this project was important for both companies. The problem described in this document resume itself in verifying the presence of glue in industrial bags, which are being made. Firstly, Klabin requested to Sensorville's services to develop a solution for the problem. Visits were done to gather information, and possible solutions started to coming up. The best of them was the vision system implementation. After tests in lab and in loco, the final system was implanted. Some difficulties were faced until the final solution had been implemented, as operational problems, variability in the products, system positioning in the machine, and others. Trainings were done with the operators, enabling them skilled enough to configure the system according needed. The results related by the customer were satisfactory, that created a relationship between the companies. To finalise, the application installed generated performance's reports of the system providing the business analysis, witch shown excellent results.

Key-words: Machine vision. Glue detection in industrial bags. BANNER.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: ESQUEMÁTICO DA FORMAÇÃO DO TUBO.	14
FIGURA 2: ILUSTRAÇÃO DE UM SISTEMA DE VISÃO COMPUTACIONAL COMPLETO PARA REJEIÇÃO DE PRODUTOS DEFORMES.	18
FIGURA 3: CRESCIMENTO ANUAL DAS VENDAS DE SISTEMA DE VISÃO DURANTE O PERÍODO DE 2015-2021.....	19
FIGURA 4: SENSOR DE VISÃO IVU TG GEN2.	20
FIGURA 5: SISTEMA DE VISÃO ID-20, ID-30, E ID-40.	21
FIGURA 6: FUNCIONAMENTO E EXEMPLO DA ILUMINAÇÃO BACKLIGHT DA BANNER.	25
FIGURA 7: FUNCIONAMENTO DE UMA ILUMINAÇÃO BACKLIGHT PARA OBJETOS TRANSLÚCIDOS.....	25
FIGURA 8: FUNCIONAMENTO E EXEMPLO DA ILUMINAÇÃO ON-AXIS.....	26
FIGURA 9: ESQUERDA FOTO TIRADA SEM ILUMINAÇÃO E DIREITA FOTO UTILIZANDO UMA ON-AXIS LIGHT.	26
FIGURA 10: FUNCIONAMENTO E EXEMPLO DA ILUMINAÇÃO DOME LIGHT.	27
FIGURA 11: ESQUERDA FOTO TIRADA SEM ILUMINAÇÃO E DIREITA FOTO UTILIZANDO UMA DOME LIGHT.	27
FIGURA 12: FUNCIONAMENTO E EXEMPLO DA ILUMINAÇÃO CAMPO ESCURO.	28
FIGURA 13: ESQUERDA FOTO TIRADA SEM ILUMINAÇÃO E DIREITA FOTO UTILIZANDO UMA LOW ANGLE.....	28
FIGURA 14: FUNCIONAMENTO E EXEMPLO DA ILUMINAÇÃO DIRECIONAL.	29
FIGURA 15: ESQUERDA FOTO TIRADA SEM ILUMINAÇÃO E DIREITA FOTO UTILIZANDO UMA BAR LIGHT.	29
FIGURA 16: ÁREA DE ATUAÇÃO DO SENSOR DE TEMPERATURA DE ACORDO COM A DISTÂNCIA DE UTILIZAÇÃO.	30
FIGURA 17: FUNCIONAMENTO DO FENÔMENO DA DIFUSÃO DA LUZ.	32
FIGURA 18: TESTE COM SENSOR DE CONTRASTE PARA DETECTAR A PRESENÇA DE COLA NO PAPEL.	32
FIGURA 19: FUNCIONAMENTO DA PROGRAMAÇÃO DUAL DO SENSOR DE MEDIÇÃO A LASER.....	33
FIGURA 20: INSPEÇÃO FEITA COM SUCESSO. FERRAMENTA BLAMISH CONFIGURADA PARA RECONHECER A COLA.....	35
FIGURA 21: INSPEÇÃO FALHA. FERRAMENTA BLAMISH ACUSANDO AUSÊNCIA DE COLA.	35
FIGURA 22: LOCAL DE INSTALAÇÃO DA CÂMERA.....	36
FIGURA 23: ILUMINAÇÃO BANNER, MODELO WLS28XW145SQ.	37
FIGURA 24: ESQUEMÁTICO DA INSTALAÇÃO DO TRIGGER.	37
FIGURA 25: SENSOR INDUTIVO TURCK, MODELO BI10-M30-AP6X-H1141.....	38
FIGURA 26: REPRESENTAÇÃO DO CIRCUITO DO SISTEMA.	39
FIGURA 27: ALARME LUMINOSO BANNER, MODELO TL50GYRQ.	39
FIGURA 28: DIAGRAMA ELÉTRICO PARA ACIONAMENTO DA COR DESEJADA.....	39
FIGURA 29: EXEMPLO DE COMO MELHOR DETECTAR A FAIXA DE COLA MUDANDO A SENSIBILIDADE.	40
FIGURA 30: EXEMPLO DE COMO CONFIGURAR O NÚMERO DE PIXELS A SER APROVADO.	41
FIGURA 31: IMAGEM DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA NA MÁQUINA REAL.	41
FIGURA 32: PROGRAMAS GUARDADOS NA MEMÓRIA DA CÂMERA.....	42
FIGURA 33: EXEMPLOS DE POSICIONAMENTO DAS FERRAMENTAS. CORRETO (ESQUERDA) E INCORRETO (DIREITA).....	43
FIGURA 34: INSPEÇÕES PRECONFIGURADAS DISPONÍVEIS NA CÂMERA.	43
FIGURA 35: GRÁFICO DO TEMPO DE PAYBACK. RELACIONA O INVESTIMENTO INICIAL FEITO A GANHOS FUTUROS.....	47

SUMÁRIO

1. Introdução.....	8
1.1. Motivação	9
1.2. Estágio e contexto com o curso	10
2. O Grupo Sensorville	11
2.1. Klabin	12
3. Descrição do problema e aspectos conceituais.....	13
3.1. Processo de fabricação dos sacos industriais.....	13
3.2. Alternativas de solução para falta de cola em sacos industriais.....	15
3.3. Sistema de visão computacional	16
3.3.1. Câmera	19
3.3.2. Iluminação	24
4. Projeto e dimensionamento	30
4.1. Sensor de temperatura.....	30
4.2. Sensor fotoelétrico	31
4.3. Sensor de medição a laser.....	33
4.4. Sensor de visão.....	34
5. Implementação da solução.....	36
5.1. Calibração da ferramenta Blamish	40
5.2. Treinamento	42
6. Resultados.....	45
7. Conclusão.....	48
REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

O mercado consumidor atual está cada vez mais exigente, obrigando o desenvolvimento e a automatização dos processos industriais, visando o aumento na qualidade do produto ofertado e também o valor agregado ao mesmo. Sendo assim, a indústria ganha paralelamente capacidade competitiva no mercado, com alta qualidade de produção, e benefícios na qualidade de trabalho dos colaboradores.

O problema a ser abordado neste projeto de fim de curso consiste em detectar falta de cola no papel no processo de colagem de sacos industriais. Esta é uma falha recorrente no processo atualmente causando prejuízos para a Klabin, pois caso haja falta de cola, o material a ser armazenado acaba vazando do saco na etapa de envase (envase feito pelo comprador dos sacos, empresas de cimento, ração, carvão e outras que necessitam de sacos industriais) e por consequência se espalhando pela máquina, o que pode causar diversos problemas, como parada de máquina, ou até danos à esta.

Os principais objetivos deste projeto são:

- Encontrar uma solução para o problema de falta de cola em sacos industriais com os produtos ofertados pela Sensorville;
- Testar a funcionalidade das possíveis soluções;
- Implementar a solução in loco para validação de seu funcionamento;
- Analisar os ganhos com o sistema.

Inicialmente algumas soluções foram analisadas e testadas em laboratório a fim de verificar a funcionalidade e o custo benefício de tais, como: sensor de temperatura, sensor de contraste, sensor de medição e por fim um sensor de visão. Como o processo exige flexibilidade (número de linhas de colas variável) e complexidade (vibração da folha de papel, tonalidade da cola próxima à alguns modelos de papéis), a única opção viável, tanto por rentabilidade quanto por funcionalidade, foi utilizando o sensor de visão. O sensor de visão, é capaz de verificar a presença ou a ausência de cola, e não a quantidade de cola depositada no saco industrial.

Não é possível resolver o problema apenas utilizando o sensor de visão, é necessário agregar componentes para maximizar a utilização do dispositivo, tais

como: iluminação, sensores de disparo (comumente chamado de *trigger*), controlador lógico programável – CLP, e botões para intertravamento de ações da máquina.

O trabalho realizado é padronizado para todos os projetos desenvolvidos pela Sensorville. Primeiramente um cliente solicita a um vendedor externo da Sensorville, uma solução para um problema encontrado em sua linha de processos. Este problema é levado à área técnica da Sensorville para análise. O engenheiro de aplicações utiliza a seguinte metodologia:

- Contato com o cliente. Nesta etapa algumas perguntas são feitas para recolher as informações necessárias para resolver a aplicação: Qual é o problema? Como é o funcionamento do processo? Há grande variação de produtos a serem inspecionadas? Quais são os parâmetros para o rejeito de um produto? Qual tipo de comunicação utilizada para com o controlador?;
- Com as informações necessárias do processo, faz-se a correta especificação do sistema, tendo cuidado para não superestimar uma solução, fazendo com que esta fique inviável financeiramente, mas também que não fique subestimado a ponto do sistema oferecido não oferecer melhoras ao sistema;
- Após a correta especificação do sistema, são realizados testes de funcionalidade em laboratório;
- Com os resultados baseados nos testes de funcionalidade, é enviada ao cliente uma proposta com o valor monetário e a descrição do funcionamento da solução ofertada;
- Com a aprovação financeira do cliente, são realizados testes *in loco* para validação definitiva do sistema;
- Com a validação, capacitamos o operador para manuseio correto dos produtos.

1.1. Motivação

Durante a realização do projeto em parceria com a Sensorville, surgiram oportunidades de conhecer com mais detalhes o funcionamento de diversas linhas de produção. A Sensorville permite constante contato com melhorias de processos industriais.

A solução proposta neste documento foi de grande importância para a Sensorville, pois a Klabin é uma grande parceira da empresa, e o valor agregado ao projeto foi grande para ambas empresas. Buscar meios de, e solucionar este problema foram as motivações para este projeto, pois a melhoria contínua de processos é de grande valia para a indústria. Em paralelo a este projeto, outros foram realizados em diversas empresas com o mesmo intuito.

Para este projeto, foram previstos:

- Treinamento geral sobre sensores com foco em sistema de visão;
- Especificação de um produto para solucionar uma dada aplicação;
- Testes em laboratório e testes na linha produtiva;
- Treinamento de operadores para manuseio do sistema;
- Análise das melhorias após a instalação do sistema.

1.2. Estágio e contexto com o curso

No decorrer do projeto, diversos conceitos adquiridos pelas disciplinas cursadas ao longo do curso de Engenharia de Controle e Automação, foram aplicados. Noções de chão de fábrica, processos de manufatura, circuitos elétricos foram necessários para poder especificar os corretos sensores para determinada solução, inclusive para a aplicação descrita neste documento. As disciplinas mais relevantes foram às relacionadas à automação industrial, e processos industriais, como: Informática Industrial I (DAS5305); Circuitos Elétricos para Controle e Automação (EEL5104); Medição de Grandezas Mecânicas (EMC5236); Sistemas Integrados de Manufatura (EMC5255); Redes de Computadores para Automação (DAS5314); Instrumentação em Controle (DAS5151).

No capítulo 2 será feita uma breve apresentação da Sensorville, empresa em que foi realizado este projeto. No capítulo 3 será descrito o problema e apresentar-se-á alternativas de soluções para o mesmo. O capítulo 4 descreverá o estudo e dimensionamento do projeto. O capítulo 5 demonstrará a implementação da solução que melhor se adequou. Os resultados serão exposto no capítulo 6, e por fim no capítulo 7 concluir-se-á o trabalho.

2. O GRUPO SENSORVILLE

O Grupo Sensorville têm 20 anos de história em automação industrial e de processos, dedicando-se, nos estados de Santa Catarina (SC) e Paraná (PR), ao oferecimento de soluções em sensores, sistema de visão, wireless industrial, segurança de máquinas, IHMs, entre outras soluções. A empresa conta com mais de 20 vendedores internos e externos e 10 engenheiros de aplicação. Possui um dos maiores estoques do mercado, com mais de 20000 produtos para pronta entrega. As sedes de Joinville e Curitiba contam com laboratórios modernos para dimensionamento de aplicações, testes de viabilidade técnica e reparos. A empresa se compromete em difundir o conhecimento sobre as atualizações em automação para seus clientes, oferecendo cerca de 25 workshops personalizados e gratuitos por ano.

O Grupo Sensorville é dividido em três empresas, que são Sensorville (matriz situada em Joinville – SC), Sensorpar (filial situada em Curitiba – PR) e a SensorTraffic (situada na matriz). A empresa é representante de marcas de mais alta qualidade mundial, como BANNER (Minnesota – Estados Unidos), Microscan (Renton – Estados Unidos), entre outras. É detentora de vários prêmios oferecidos pelas marcas representadas, como Top distribuidor BANNER da América Latina, líder nacional em sistema de visão BANNER, referência em soluções de segurança de máquinas (NR12 – Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos), líder nacional em sensores e automação de pedágio e tráfego. Contando com mais de 1000 (mil) clientes ativos, o Grupo Sensorville atende desde a micro indústria até multinacionais dos mais variados segmentos do mercado, como montadores de máquinas, indústrias alimentícias, farmacêuticas, automobilísticas, madeireiras, papel e celulose, siderúrgicas, metalúrgicas, entre outras.

A empresa oferece atendimento para aplicações mais específicas, como sistema de visão, comunicação wireless, e soluções de segurança em máquinas. Para estes tipos de aplicações, é necessário que o engenheiro de aplicação tenha um treinamento mais aprofundado em um setor específico, treinamento este recebido diretamente dos fornecedores anteriormente citados. Dentre as subdivisões fiquei encarregado como especialista em sistema de visão, onde trabalhei com antigos especialistas na área e pude absorver um pouco de suas experiências com os problemas relacionados ao trabalho.

2.1. Klabin

A Klabin, é uma empresa que faz parte do setor de papel e celulose. Empresa brasileira, fundada em 1899, possui 18 plantas industriais sendo uma na Argentina e 17 no Brasil. É líder na produção de embalagens de papelão ondulado, papéis e cartões para embalagens e sacos industriais. Única empresa do setor a fornecer simultaneamente ao mercado celulose de fibra longa, de fibra curta e celulose fluff.

3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E ASPECTOS CONCEITUAIS

Dentre as diversas aplicações passíveis de escolha, a que será descrita neste capítulo do projeto de fim de curso, foi durante o tempo de estágio a mais importante no ponto de vista da Sensorville. O problema envolve verificar a presença de cola em sacos industriais.

3.1. Processo de fabricação dos sacos industriais

As máquinas, ao todo 13 replicações, em que o projeto foi aplicado tem cerca de 150 metros e realiza grande parte dos processos de fabricação dos sacos, desde o desbobinamento dos rolos papéis até a formação dos sacos abertos em duas extremidades opostas. O funcionamento da máquina será melhor detalhado abaixo.

- No início são colocados os rolos de papel e plásticos que formarão os sacos. Os sacos podem conter até quatro camadas, então podem ser colocados no alimentador até quatro rolos diferentes. Os papéis ou plásticos, são puxados por cilindros os quais possuem velocidade controlada para prevenir o rompimento da matéria prima.
- O primeiro processo realizado na máquina é a impressão do rótulo desejado pelo cliente. Nesta célula da máquina, não há interferência de mão de obra. Uma vez abastecido o tonel de tinta ou verniz, e inicializado o programa correto para impressão.
- As folhas de papel já impressas são organizadas de acordo com as especificações do cliente final, quantidade de folhas, o material (papel ou plástico) e a organização são feitas nesta etapa.
- As camadas, já organizadas, entram na célula formadora do tubo de papel, "Tubeira". Os operários configuram uma mesa de acordo com as dimensões do saco a ser formado, para que as camadas cheguem e formem um tubo (ver Figura 1), praticamente fazendo as dobras laterais dos sacos (dobras que parecem a letra M). É neste estágio do processo que a cola que une as laterais das camadas é depositada sobre o papel, e portanto esta é a etapa que será abordada neste documento. As linhas de cola variam com a quantidade de camadas utilizadas na formação do saco industrial. A cola depositada, eventualmente acaba e nenhuma forma de controle da quantidade de

cola nos reservatórios é feita. Pode ocorrer falta de cola, também, pelo mal ajuste por parte do funcionário do cilindro que deposita a cola. A falta de cola na formação dos tubos faz com que os sacos no final na linha saiam inadequados para venda, pois se o cliente que for utilizar o saco, estocar seu produto o mesmo vazará. Este cenário gera desconforto na relação das empresas, devolução de produto ruim, perda de matéria prima (tinta e papel), e perda de tempo de produção dos novos produtos a serem ressarcidos.

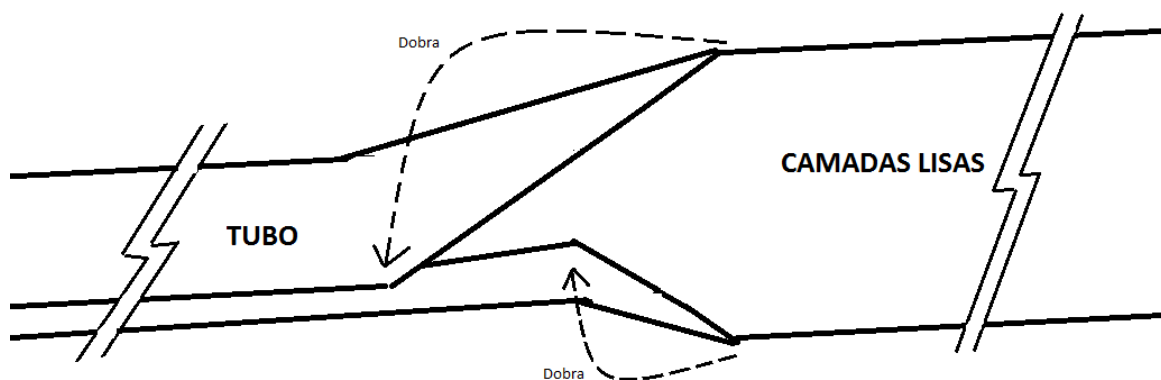


Figura 1: Esquemático da formação do tubo.

- A célula seguinte realiza o corte em unidades dos sacos. Os sacos caem em uma esteira que os quantifica e os separa em quantidades fixas (esta quantidade pode variar de acordo com o tamanho do saco produzido).
- A última etapa da máquina é a organização desses sacos separados para paletização, que é feita por um braço robótico com quatro eixos (x, y, z e rotação). A velocidade de produção varia de acordo com o tipo de matéria prima utilizada, quantidade de camadas e tamanho dos sacos, tendo uma média de cento e cinquenta sacos por minuto.
- Após a paletização, os sacos são levados pelas empilhadeiras para outra máquina para costurar uma das bocas do saco industrial.

O processo com um todo, desde o desbobinamento da matéria prima até a costura de uma das bocas do saco, é contínuo e realizado em todos os turnos de trabalho, 24 horas por dia.

3.2. Alternativas de solução para falta de cola em sacos industriais

De acordo com [6], os dois sistemas para aplicar produtos adesivos em superfícies são: sistema de extrusão por pressão e o sistema mecânico de rodas. O primeiro tipo de sistema é constituído de duas formas: o de alta pressão e o comum. A diferença principal desses dois métodos é que o sistema que cria alta pressão na expulsão da cola é capaz de criar linhas mais finas, justamente devido à pressão utilizada. Este tipo de sistema de extrusão trabalha bem se utilizado o correto adesivo.

O outro tipo de sistema é limitado para colar apenas um lado da aba do produto. Como o sistema faz a colagem de ponta a ponta, este é bastante utilizado para colar embalagens que contenham produtos como farinha, sal, açúcar. Sendo assim o sistema ideal para a fabricação de sacos industriais, e por isto, este foi o sistema de colagem utilizado pela Klabin.

Em [6] são referenciadas diferentes formas para detectar e monitorar a presença, inconsistência (linhas longas, com falhas, ou curtas) e até o volume de cola utilizada no processo. Abaixo algumas das tecnologias citadas:

- **Sensor capacitivo:** analisa a densidade de água no adesivo em comparação ao produto;
- **Sensor de detecção ultravioleta:** colocando-se um aditivo ultravioleta fluorescente no produto adesivo, pode-se verificar a quantidade de cola depositada de acordo com a quantidade de radiação ultravioleta emitida pela cola;
- **Sensor de detecção de micro-ondas:** utilizando tecnologia de micro-ondas consegue diferenciar a umidade do produto e da cola;
- **Sensor de detecção de umidade:** analisa o nível de umidade presente no produto analisado, pois a cola geralmente é mais úmida que o produto a ser colado;
- **Sensor de temperatura infravermelho:** verifica a diferença de temperatura da cola e do produto a ser colado;

- **Sensor de contraste:** sensor que diferencia o contraste entre a cola e o produto. Este tipo de sistema funciona bem quando a cola tem uma coloração bem homogênea e também diferente da coloração do produto;
- **Sistema de visão computacional:** utilizando ferramentas computacionais para tratar as imagens, este tipo de sistema facilmente verifica a presença de cola no produto;
- **Sensor de medição laser:** utiliza a altura da cola como parâmetro de presença ou ausência da mesma.

A Sensorville possui uma grande variação de sensores, entre eles os que não se encaixam para detectar a presença de cola no papel são: sensores indutivos, magnéticos, fluxo, temperatura, ultrassônico. Em contrapartida, os sensores que se encaixam para detecção da cola como explicado anteriormente: sensores de temperatura, fotoelétricos, fibra ótica, medição a laser, e sistemas de visão.

Atualmente existem vários métodos para verificar a presença de cola, porém como estamos restringidos aos produtos oferecidos pelas marcas representadas, tivemos que solucionar o problema de presença de cola em sacos industriais utilizando os mesmos. A seguir serão descritos os equipamentos disponíveis na Sensorville para análise e testes a fim de solucionar a aplicação.

3.3. Sistema de visão computacional

Sistema de visão é uma tecnologia relativamente nova. Este conceito é um ramo da Ciência da Computação que começou em meados dos anos 60, com Larry Roberts [7], discutindo a possibilidade de recriar imagens tridimensionais a partir de perspectivas bidimensionais. Usufruindo de estudos baseados em inteligência artificial e processamento de imagem digital, pesquisadores desenvolveram sistemas capazes de interpretar e analisar imagens de câmeras em um computador.

Os sistemas de visão começaram a ser introduzidas em meados dos anos 80 na indústria. Estes sistemas já eram compactos com processamento de imagem embarcado porém com baixo potencial de análise e com ferramentas limitadas. Atualmente, são capazes de resolver problemas com grande flexibilidade, oferecendo

diversas opções para automação industrial e melhorias nos processos, como inspeções para conformidade do produto, análises de medição de cotas, leitura de código de barras para rastreabilidade ou seleção de produtos.

A integração de um sistema de visão à linha de processo auxiliando o trabalhador, faz com que as tarefas sejam executadas com mais eficiência e rapidez. O operador é passível de distrações e falhas recorrentes, ao contrário do sistema de visão que realiza tarefas repetitivas e complexas com alto grau de precisão, mesmo trabalhando em alta velocidade.

O sistema de visão não é composto apenas pela câmera que faz a captura da imagem, este é um sistema complexo contendo todos os elementos necessários para capturar uma imagem em uma representação digital (ver Figura 2). Podemos simplificar o sistema dividindo-o em blocos:

- 1. Captura da imagem:** a captura da imagem é o processo mais importante dos quatro blocos, pois de acordo com a imagem capturada todos os outros blocos serão afetados. O posicionamento ideal da câmera proporciona bom enquadramento da imagem, destacando as características a serem analisadas. A iluminação também é um fator determinante que realça a característica a ser inspecionada. O uso correto de lentes e a escolha da resolução da câmera, estão relacionadas ao nível de detalhes que queremos capturar. Lentes mais focadas reduzem o campo de visão da câmera, porém a quantidade de pixels da imagem continua a mesmo, aumentando a resolução da mesma, estas também reduzem o efeito de paralaxe. A padronização e a repetitividade da imagem é garantida pelo *trigger* (sensor que envia sinal digital para a câmera capturar a imagem), facilitando a análise e garantindo a presença do produto dentro do campo de visão;
- 2. Processamento:** os pixels quantificam a intensidade luminosa em escala de cinza ou RGB, de acordo com a tecnologia utilizada. Os valores desta escala formam um *array*, que é interpretado matematicamente pelo processador do sistema. Cada pixel tem sua informação processada, ou seja, uma câmera com resolução 752 x 480 contém 360960 pixels. Por isso, as ferramentas disponíveis nas

câmeras têm uma região de inspeção ajustável, focando a análise em pontos estratégicos da imagem;

3. **Análise:** com base nas informações fornecidas por cada pixel, inteligência artificial é aplicada para criar as ferramentas de análise disponíveis nos sistemas de visão;
4. **Decisão:** o resultado da análise das ferramentas implementadas é passado do processador do sistema para um controlador, via sistema de comunicação (EtherNet/IP, PROFIBUS, MODBUS, RS-232). O controlador analisa os resultados e atua de alguma forma com o processo.

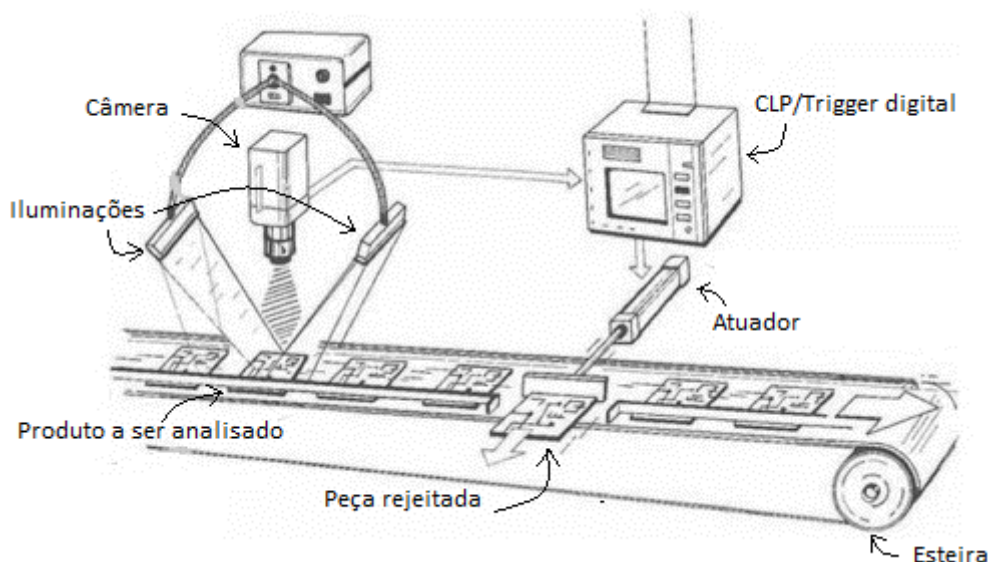


Figura 2: Ilustração de um sistema de visão computacional completo para rejeição de produtos deformes.

O sistema de visão está se tornando uma alternativa viável para indústrias. De acordo com um estudo da IndustryARC – empresa provedora de relatórios de pesquisa de mercado, serviço personalizado de consultoria, e análise industrial e de dados – os sistemas de visão atingiram U\$1.32 bilhões de venda no ano de 2015, e deverá atingir uma taxa de crescimento anual de 8,3% durante o período de 2016-2021 (ver Figura 3) [5].

Fonte: [5] IndustryARC. Machine Vision Camera Market: By Types (Vision Sensors, Smart Cameras, PC Systems) By Product Type (Area Scan, Line Scan, IR, Others) By Industry Verticals (Semiconductor, Automotive, F&B, Healthcare, Others) - *Forecast (2016-2021)*. Disponível em: <http://industryarc.com/Report/15028/machine-vision-camera-market.html>. 07 de Fevereiro de 2017.

Machine Vision Cameras Market Revenue, 2015-2021 (\$Billion)

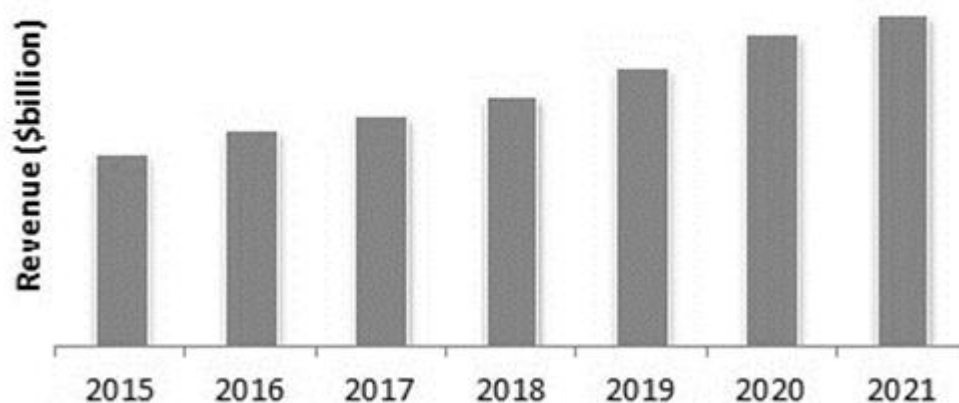


Figura 3: Crescimento anual das vendas de sistema de visão durante o período de 2015-2021.

O setor automotivo foi o maior contribuinte de 2015 e está projetado para dominar as vendas do mercado de sistema de visão durante o período de 2016-2021 [5]. A crescente adesão desses equipamentos na indústria automotiva será mais expressiva nas Américas e na Europa, em aplicações como inspeção, monitoramento, e medição [5].

3.3.1. Câmera

A Sensorville representa algumas marcas mundialmente conhecidas. As marcas que fornecem as câmeras que poderiam ser utilizadas neste projeto são BANNER e Microscan. As marcas fornecem diversos sistemas de visão computacional, porém a seguir serão descritos apenas as câmeras estudadas e fornecidas pela Sensorville para esta solução.

3.3.1.1. BANNER

A Banner Engineering é uma empresa que fabrica sensores para solucionar diversas aplicações industriais com objetivos na automação de processos. Os produtos oferecidos são variados, como: sensores fotoelétricos, barreiras de medição, barreiras de segurança, chaves de segurança, sistemas de comunicação wireless industrial e até sistemas de visão.

A linha de sensores de imagem iVu Series possui interface de configuração, através de uma tela touchscreen, permitindo a programação e ajustes do sensor sem a necessidade de uso de um computador. Visando solucionar aplicações que podem ser elaboradas e ajustadas diretamente em chão de fábrica [1]. As características do sensor de visão iVu Series são:

- Resolução de 752x480 pixels;
- Possibilidade de tela remota, para aplicações com acesso restrito à área de atuação para configuração;
- Velocidade de captura de imagem de até 60 frames por segundo;
- Duas entradas pré-programadas (“trigger” e “teach” remoto);
- Três saídas configuráveis;
- Comunicação EtherNet/IP, Modbus/TCP, PCCC, PROFINET e RS-232.



Figura 4: Sensor de visão iVu TG Gen2.

Outra câmera fornecida pela BANNER é a *Vision Expert*. A configuração do sistema é feita via PC utilizando o software *Vision Manager*. Este sistema possui mais ferramentas para análise (medição, detecção de borda, localização, entre outras) e

diversidade de resolução, comparado ao sensor iVu Series descrito anteriormente [2].

O sistema de visão possui as seguintes características:

- O *Vision Manager Software* é de fácil manipulação e gratuito;
- Comunicação industrial EtherNet/IP, Modbus, e PROFINET;
- Cinco entradas e saídas programáveis, uma entrada para trigger, e conector para adição de luz externa;
- A estrutura física da câmera e a capa protetora de lente, garantem o funcionamento em ambientes mais hostis.

3.3.1.2. Microscan

A Microscan é uma empresa com foco em tecnologia de identificação e verificação (qualidade) de código de barras, sistemas de visão para inspeção. A empresa foi a primeira a utilizar diodos a laser para leitura de código de barras e a simbologia 2D, Data Matrix.

A MicroHAWK

[3], é um sistema muito compacto, garantindo a instalação em aplicações onde espaço físico é uma complicação. Esta linha é dividida em duas famílias, *Machine Vision* (MV) e *Barcode Readers* (ID). As diferentes linhas possuem o mesmo hardware, diferenciando-se apenas em firmware. Os softwares de configuração da linha *Machine Vision* é o AutoVISION e o *Visionscape*. Já para a família *Barcode Readers*, utiliza-se o *WebLink*, o qual funciona via web browser e possui características diferentes dos anteriores (especifico para leitura de código de barras).



Figura 5: Sistema de visão ID-20, ID-30, e ID-40.

3.3.1.3. Softwares

As fabricantes possuem softwares adequados para utilizar com as câmeras, sendo desnecessário o desenvolvimento de um novo software. Os programas além de possuírem ferramentas computacionais de processamento de imagem, oferecem registro das imagens, e de informações (número de fotos tiradas, quantas inspeções falharam, registro de mudança no programa) para posterior análise pelo setor administrativo. A seguir serão descritos alguns dos softwares desses fabricantes e suas características.

Os softwares dos sistemas de visão são feitos para serem o mais intuitivos possíveis deste modo. Com um treinamento os operadores conseguem ajustar as configurações de captura de imagem (foco, tempo de exposição, ganho, filtros digitais de imagem e campo de visão), e também configurar as ferramentas de inspeção, que permitem analisar se a imagem capturada está conforme o desejado ou não. Abaixo serão descritas as ferramentas disponíveis.

O sensor de visão iVu Series possui as seguintes ferramentas:

- **Match:** utilizada para garantir a quantidade de uma referência padrão, formato, ou parte em qualquer orientação. A referência é ensinada durante o setup. O padrão inclui qualquer formato que possua diferença de contraste. Durante uma inspeção, o sensor procura este padrão dentro da região de inspeção;
- **Blemish:** quantifica os pixels que contornam uma mancha. É utilizada para encontrar falhas em uma parte (arranhados em um disco), ou para certificar a existência de uma característica (gravura). Esta é a ferramenta utilizada no projeto descrito neste documento;
- **Area:** utilizada para garantir a quantidade de áreas escuras ou claras que ocupam a região de inspeção e.g.: contagem de furos;
- **Sort:** é um tipo de ferramenta que reconhece e separa até dez distintos padrões dentro de uma mesma inspeção. O funcionamento é semelhante ao da ferramenta “Match” anteriormente descrita. Geralmente utilizada para identificar e selecionar peças na linha de produção.

Seguindo a linha da marca BANNER, utiliza-se o software *Vision Manager* para a configuração da câmera *Vision Expert*. Este software dispõe das mesmas ferramentas descritas anteriormente e outras para inspeções mais complexas:

- **Average gray:** cada pixel tem uma escala de cinza com valor de intensidade variando entre 0 (preto) e 255 (branco). A ferramenta grava o valor da escala de cinza para cada pixel na região de interesse de inspeção e faz a média deles. Com esta informação, a ferramenta pode indicar várias condições, como falta de objeto, buracos, mudanças de textura, e possíveis mudanças de cores;
- **Bead:** utilizada para inspecionar a uniformidade de materiais adesivos, selantes, lacuna, e bordas;
- **Edge:** utilizada para detectar e contar transições entre tons. A informação da posição desta transição pode ser utilizada para medições de distância e ângulo quando usado como referência para uma ferramenta de medição;
- **Locate:** utilizada para localizar a borda de um produto que é feita de referência, prevenindo o desalinhamento das ferramentas, compensando a translação e a rotação do produto durante o processo;
- **Object:** utilizada para detectar e medir a largura de todo segmento escuro e claro dentro da região de interesse, calcular o ponto médio, e contar o total de segmentos. O ponto médio pode servir de parâmetro de entrada para a ferramenta de medição;
- **Math:** realiza expressões matemáticas utilizando resultados de outras ferramentas, ou valores constantes fornecidos pelo usuário;
- **Measure:** utilizada para determinar distâncias, e calcular ângulos;
- **Logic:** utilizada para combinar ou converter resultados das ferramentas utilizando lógica booleana. O resultado pode ser enviado por uma saída discreta.

Para a linha de produto da Microscan, utiliza-se o software *AutoVISION*, [4], e para aplicações mais complexas o *Visionscape*. Este possibilita configurações mais específicas, como habilitar e desabilitar ferramentas específicas durante a inspeção, garantindo melhor rapidez na inspeção, porém a configuração é menos intuitiva. As

ferramentas Locate, Match, Area, Measure e Logic, descritas anteriormente, estão presentes nos softwares. As ferramentas que diferem são:

- **Decode**: utilizada para ler códigos de barras, tanto 1D quanto 2D;
- **OCR**: utilizada para reconhecer caracteres impressos. Contém fontes pré-carregadas, ou pode-se adicionar novas fontes ao banco de dados. Utiliza rede neural para aumentar a variação de caracteres reconhecendo-os mesmo se mal impressos;
- **Match String**: utilizada para comparar textos provenientes de outras ferramentas como OCR, e Decode;
- **String Format**: utilizada para formatar a *string* de saída de acordo com o formato desejado para envio ao controlador lógico programável por exemplo;
- **OCV**: utilizada para verificar a qualidade de caracteres que estão sendo inspecionados, comparando estes a uma fonte pré-definida;
- **Symbol Quality**: utilizada para verificar a qualidade de símbolos 1D e 2D.

Os sistemas de visão da Microscan, dedicados à leitura de código de barras, tem software específico que funciona via *browser*. Para acessar a câmera é preciso colocar o IP da mesma na barra de endereço do *browser*. Após feita a comunicação, pode-se configurar os diversos parâmetros da câmera, tempo de exposição, foco, modo de funcionamento, modo do *trigger*, códigos para leitura (Code 128, Code 93, Pharmacode, UPC/EAN, Data Matrix, QRCode), quantidade de códigos a serem inspecionados, filtros de imagem, formato de saída da inspeção.

3.3.2. Iluminação

A iluminação é um dos fatores mais importantes quando se trata de uma aplicação envolvendo sistema de visão. Adequando a intensidade luminosa incidente na área a ser inspecionada e o tipo de iluminação utilizada para tal, detalhes como, escritos, ranhuras, bordas, perímetros, e outras características de interesse da peça, serão ressaltados e a inspeção terá maior confiabilidade. Neste item serão descritas

algumas das técnicas utilizadas para realçar as características desejadas de inspeção.

Supondo que se quer verificar a existência de amassados na borda de uma tampa. Para esta aplicação é comum utilizar uma *Backlight*, que consistem em posicionar uma iluminação por trás do objeto a ser inspecionado (ver Figura 6). Esta iluminação faz a imagem da câmera captar apenas a silhueta, interior do produto se este for translúcido (ver Figura 7), permite a melhor visualização de buracos passantes, criando um contraste imediato do produto com o fundo claro.

Fonte:] Microscan. NERLITE MACHINE VISION LIGHTING. Disponível em:
http://files.microscan.com/NERLITE/nerlite_brochure.pdf.

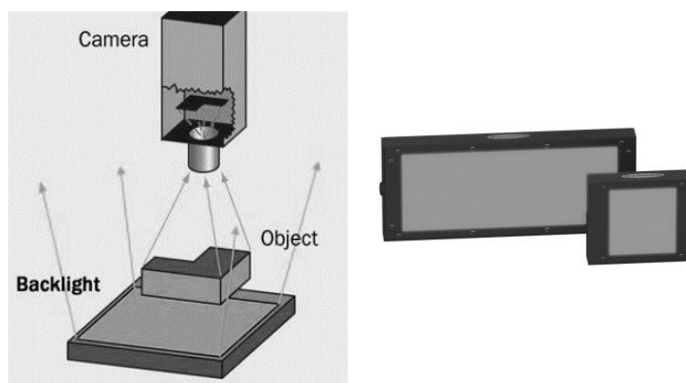


Figura 6: Funcionamento e exemplo da iluminação Backlight da BANNER.

Fonte:] Microscan. NERLITE MACHINE VISION LIGHTING. Disponível em:
http://files.microscan.com/NERLITE/nerlite_brochure.pdf.

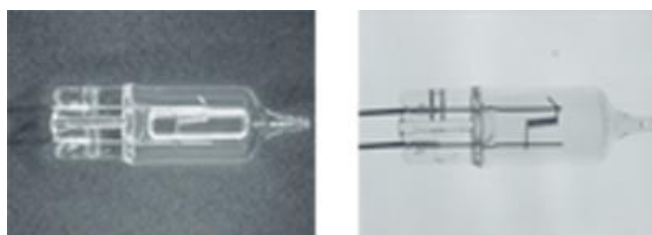


Figura 7: Funcionamento de uma iluminação backlight para objetos translúcidos.

Para amostras que são brilhosas ou caso haja no mesmo produto refletividades diferentes, a técnica de Iluminação Difusa é o método que cria uma área de completa iluminação proporcionando iluminação multidirecional sobre o produto, e geralmente as fontes de luz ficam próximas ao produto. A Microscan

[9] oferece dois produtos que utilizam este método.

Um dos produtos é a iluminação *On-axis light*. Neste mecanismo a fonte de luz passa por um difusor e por um divisor de raios que fazem com que a luz atinja perpendicularmente o objeto a ser inspecionado. Esta é preferível quando se trabalha com produtos retos, esta iluminação proporciona uma excelente captura dos detalhes da superfície do produto (ver Figura 8 e Figura 9).

O outro produto é a iluminação *Dome light*. Nesta montagem a luz reflete em uma meia esfera, que faz com que a luz incida em todas as direções no objeto inspecionado. Este tipo de fonte de luz é adequado para superfícies curvas, esta iluminação proporciona uma excelente captura dos detalhes da superfície do produto (ver Figura 10 e Figura 11).

Fonte:] Microscan. NERLITE MACHINE VISION LIGHTING. Disponível em:
http://files.microscan.com/NERLITE/nerlite_brochure.pdf.

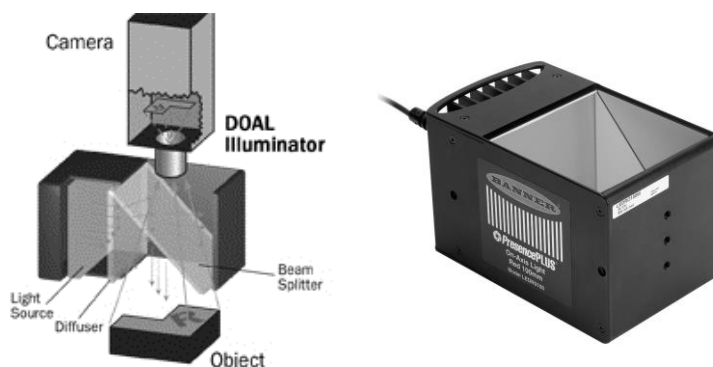


Figura 8: Funcionamento e exemplo da iluminação On-axis.

Fonte:] Microscan. NERLITE MACHINE VISION LIGHTING. Disponível em:
http://files.microscan.com/NERLITE/nerlite_brochure.pdf.

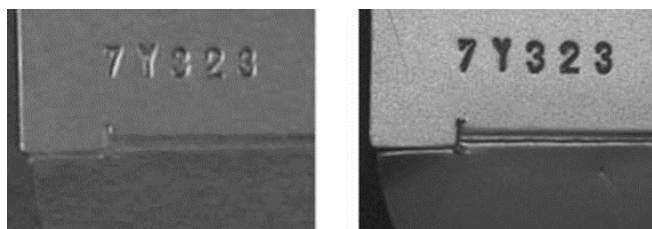


Figura 9: Esquerda foto tirada sem iluminação e direita foto utilizando uma On-axis light.

Fonte:] Microscan. *NERLITE MACHINE VISION LIGHTING*. Disponível em:
http://files.microscan.com/NERLITE/nerlite_brochure.pdf.



Figura 10: Funcionamento e exemplo da iluminação Dome light.

Fonte:] Microscan. *NERLITE MACHINE VISION LIGHTING*. Disponível em:
http://files.microscan.com/NERLITE/nerlite_brochure.pdf.

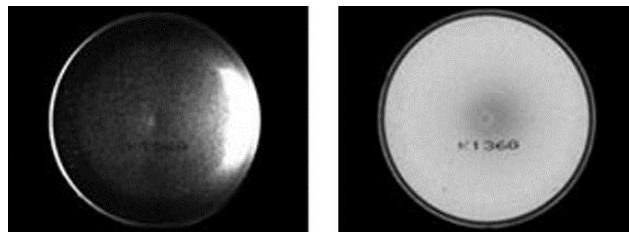


Figura 11: Esquerda foto tirada sem iluminação e direita foto utilizando uma Dome light.

A técnica menos utilizada é a de Campo Escuro. Esta técnica utiliza ângulos médio e baixo de incidência de luz na peça, o que demanda proximidade ao objeto.

Fonte:] Microscan. *NERLITE MACHINE VISION LIGHTING*. Disponível em:
http://files.microscan.com/NERLITE/nerlite_brochure.pdf.



Figura 12: Funcionamento e exemplo da iluminação Campo Escuro.

Fonte:] Microscan. *NERLITE MACHINE VISION LIGHTING*. Disponível em:
http://files.microscan.com/NERLITE/nerlite_brochure.pdf.

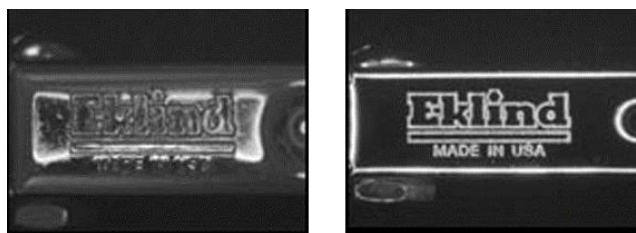


Figura 13: Esquerda foto tirada sem iluminação e direita foto utilizando uma Low Angle.

A técnica mais comum é a Direcional (ver Figura 14), a qual pode ser ajustada para melhorar a eficiência de inspeção em diversas aplicações. Ela é familiar e intuitiva uma vez que a luz solar é uma iluminação direcional. Esse tipo de iluminação deriva de um ponto que fornece luz, permitindo gerar alto contraste e realçar a claridade da superfície. Para superfícies polidas esta técnica não é aconselhada, pois o brilho excessivo pode comprometer o ponto de inspeção e a qualidade da imagem final.

Fonte:] Microscan. *NERLITE MACHINE VISION LIGHTING*. Disponível em:
http://files.microscan.com/NERLITE/nerlite_brochure.pdf.

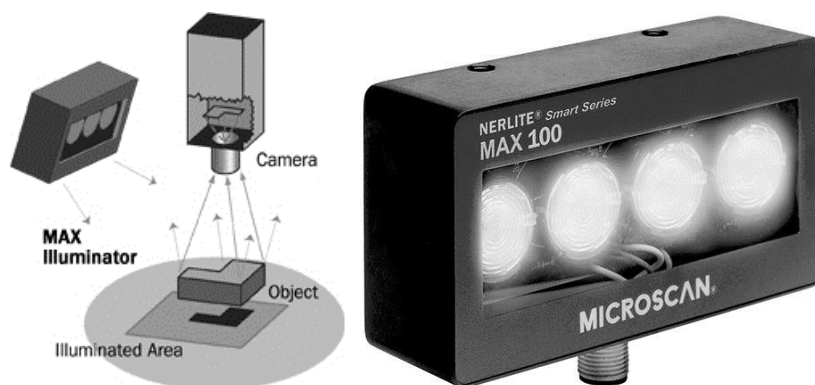


Figura 14: Funcionamento e exemplo da iluminação Direcional.

Fonte:] Microscan. *NERLITE MACHINE VISION LIGHTING*. Disponível em:
http://files.microscan.com/NERLITE/nerlite_brochure.pdf.

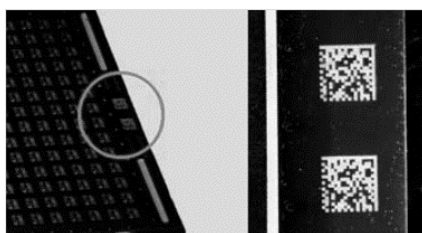


Figura 15: Esquerda foto tirada sem iluminação e direita foto utilizando uma Bar light.

A repetitividade do sistema aumenta com a técnica correta de iluminação, eliminando a interferência da iluminação ambiente (dia e noite, iluminação do ambiente). Este fator – interferência da luz ambiente - compromete a confiabilidade do sistema de visão, pois este é configurado para funcionar em certas condições de iluminação, configurando a mecânica da câmera com certo tempo para a abertura do obturador, o que restringe a intensidade luminosa a ser captada pelo sensor fotossensível.

4. PROJETO E DIMENSIONAMENTO

Neste capítulo serão descritos os testes realizados com os produtos vistos em Alternativas de solução para falta de cola em sacos industriais, que são: sensor de temperatura, sensor fotoelétrico, sensor de medição a laser e sensor de visão.

4.1. Sensor de temperatura

Os sensores de temperatura BANNER *M18T* são sensores sem contato, que operam detectando a quantidade de energia da luz infravermelha emitida pelo objeto. Os sensores possuem um área circular de atuação que cresce de acordo com a distância do sensor ao alvo (ver Figura 16).

Fonte: [10] BANNER ENGINEERING. *T-GAGE® M18T Series Sensor*. Disponível em:

<http://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/120632.pdf>
21 de Outubro de 2015.

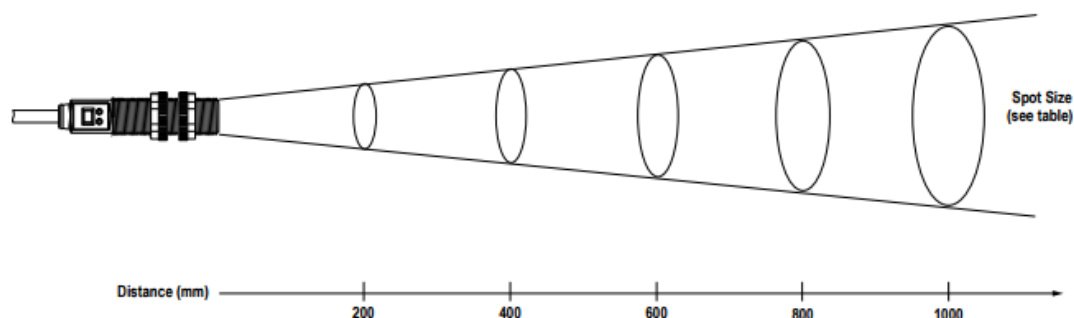


Figura 16: Área de atuação do sensor de temperatura de acordo com a distância de utilização.

Para detectar a cola seria necessário uma área de atuação de aproximadamente 10mm. Analisando a tabela (ver Tabela 1), conclui-se que o sensor de temperatura a ser utilizado teria que ter uma proporção de 14:1 e ser instalado a uma distância de 100mm da cola. O sensor utilizado para teste então foi o *M18TB14Q*.

Fonte: [10] BANNER ENGINEERING. *T-GAGE® M18T Series Sensor*. Disponível em:

<http://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/120632.pdf>.

21 de Outubro de 2015.

Sensor D:S Ratio	Distance from Sensor Face Versus Spot Size										Distance (mm)
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	
6:1	17	33	50	67	83	100	117	133	150	167	Spot Size (mm)
8:1	13	25	38	50	63	75	88	100	113	125	
14:1	7	14	21	29	36	43	50	57	64	71	

Tabela 1: Relação entre a distância do sensor e a área de atuação.

A repetitividade relativa do sensor é de 1°C, o que resolveria a aplicação. Porém o sensor compara dois pontos colocando um deles como alvo de acionamento, ou seja, um ponto seria a cola e o outro o papel, acionando o sensor caso detectasse a temperatura do papel. Porém a diferença de temperatura entre a cola e o papel não é suficiente para que o sensor entenda a diferença entre a temperatura dos dois, assumindo a temperatura deles como iguais. O sensor admite uma diferença de 3°C entre dois alvos. Os testes mostraram que a diferença de temperatura entre os alvos não foi superior a 3°C.

4.2. Sensor fotoelétrico

Os sensores fotoelétricos e as fibras óticas são sensores sensíveis a luz que conseguem diferenciar objetos com cores diferentes (contraste) utilizando o fenômeno físico da difusão da luz (ver Figura 17). O sensor emite luz no objeto a ser analisado, a luz volta para o sensor por meio da difusão, e a quantidade de luz que retorna gera um valor. Se este valor foi maior que um valor anteriormente estabelecida uma saída digital é acionada, caso contrário a saída digital se mantém desligada.

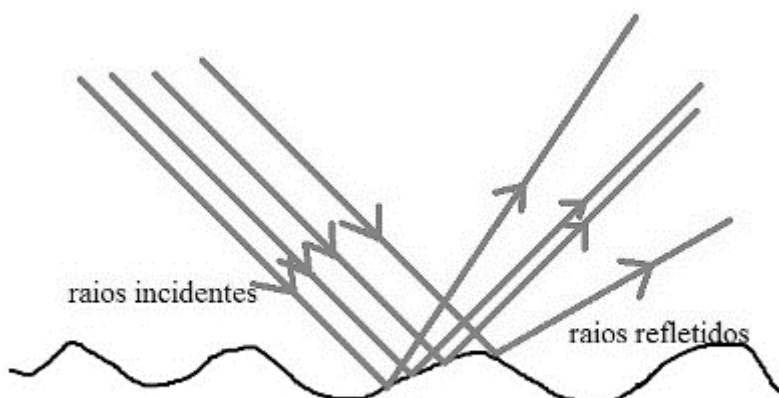


Figura 17: Funcionamento do fenômeno da difusão da luz.

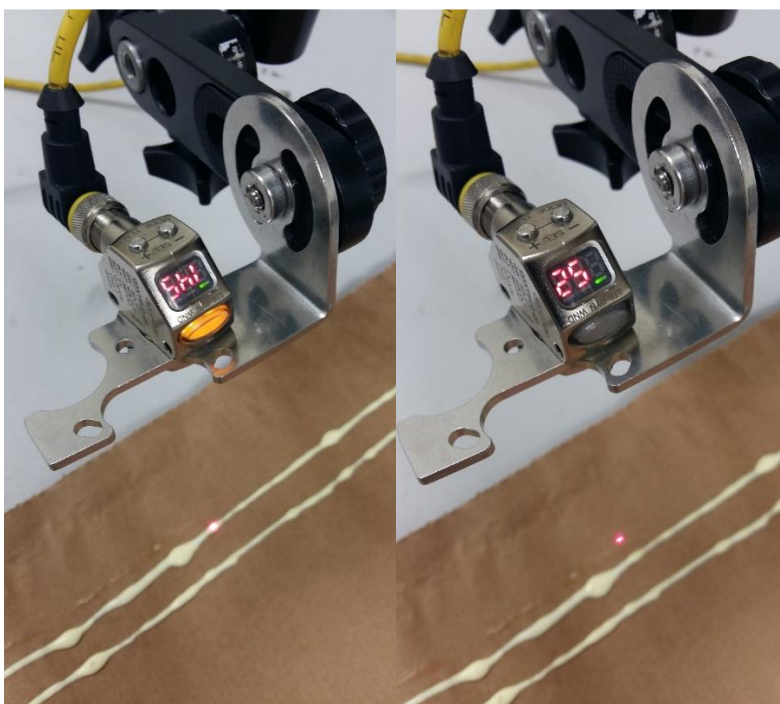


Figura 18: Teste com sensor de contraste para detectar a presença de cola no papel.

Porém existem casos em que a folha de papel possui o mesmo tom de branco da cola, o que inviabiliza esta solução.

4.3. Sensor de medição a laser

Para contornar o problema com o papel branco, pensou-se em utilizar um sensor de medição a laser. Este sensor possui um modo de programação que analisa não somente a distância do alvo mas também o contraste do mesmo, esta programação é chamada de *Teach Dual*. No primeiro estágio da Figura 19 o sensor está “aprendendo” uma distância e uma cor, modificando a cor e/ou a distância do objeto o sensor detecta falha, como podemos ver nos estágios 2, 3 e 4.

Fonte: [8] BANNER ENGINEERING. Q4X Stainless Steel Laser Sensor with Dual Discrete Outputs and IO-Link Instruction Manual.

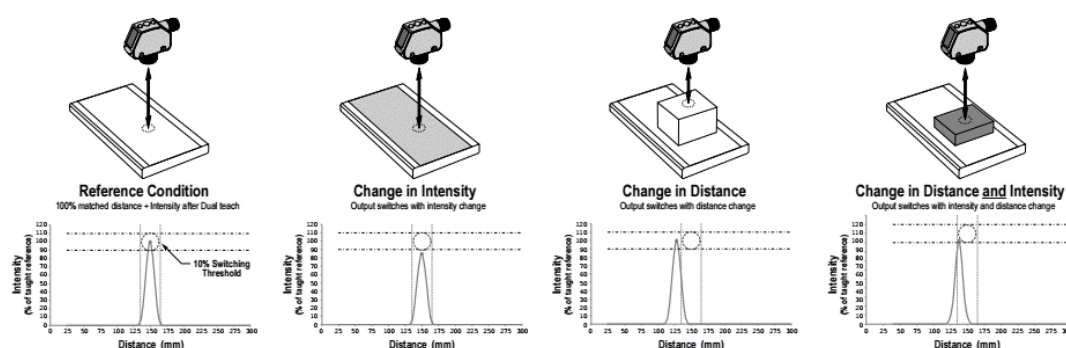


Figura 19: Funcionamento da programação Dual do sensor de medição a laser.

O sensor de medição a laser consegue detectar contraste como um sensor fotoelétrico ou fibra, e tem repetitividade suficiente para diferenciar a altura da cola no papel, como podemos ver na Tabela 2.

Fonte: [8] BANNER ENGINEERING. Q4X Stainless Steel Laser Sensor with Dual Discrete Outputs and IO-Link Instruction Manual. Disponível em:

<http://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/190074.pdf>.

17 de Janeiro de 2017.

Distance (mm)		Repeatability
Threaded Barrel Models	Flush Mount Models	
25 to 100 mm	35 to 110 mm	± 0.5 mm
100 to 600 mm	110 to 610 mm	± 0.5%

Tabela 2: Repetitividade de acordo com a diferença de distância do sensor e do alvo.

O sensor não foi aprovado nos testes, porque o papel vibra na formação do tubo, e a vibração faz com que a altura da cola e do papel variem bastante, limitando a utilização do sensor.

4.4. Sensor de visão

O sensor de visão seria outra alternativa de solução para a aplicação. Esta solução contorna as adversidades que os sensores acima descritos enfrentaram. A única dificuldade encontrada inicialmente, seria diferenciar a cola do papel branco. A imagem reproduzida pelas câmeras são em escala de cinza, então o contraste dos objetos é essencial para um bom funcionamento.

Primeiramente para especificar um dos sistemas de visão vistos no capítulo 3.3.1, precisaríamos saber qual resolução seria suficiente para detectar e analisar o alvo. Todas as câmeras descritas no capítulo citado têm resolução suficiente para esta aplicação. O próximo passo seria escolher a ferramenta ideal do software da câmera, para detectar a linha de cola. A ferramenta de análise que mais se adequa para verificar a presença de cola é a ferramenta *Blamish*, vide capítulo 3.3.1.3. O tempo de inspeção é baseado na velocidade da linha, sendo máximo permitido o tempo entre dois sacos industriais que é de aproximadamente 2,5 sacos por segundo. As câmeras de menor resolução (0,34 Megapixels) conseguem capturar até 60 frames por segundo, então a velocidade de inspeção não seria um problema, já que teoricamente a câmera é cerca de 24 vezes mais rápida que a inspeção. O tipo de comunicação por saídas digitais para o CLP foi um requisito feito pela Klabin. Então por motivos

financeiros e pela facilidade de programação, optou-se por escolher o sensor de visão iVu Series modelo iVu TG Gen2 como produto a ser utilizado.

Com a câmera especificada o próximo passo seria escolher um dos tipos de iluminação descritos no capítulo 3.3.2. O método direcional se mostrou bastante eficiente nesta solução e por motivos financeiros e de fácil instalação este foi o método utilizado.

Com o sistema completo especificado, era necessário à validação da funcionalidade do projeto, e para isto foram realizados testes em laboratório. Para testes, a câmera foi posicionada quase paralelamente ao papel, e a iluminação logo abaixo da câmera. A ferramenta foi configurada para reconhecimento da cola, (ver Figura 20). Para ratificar a funcionalidade da solução, outra ferramenta com as mesmas configurações foi colocada no papel sem cola (ver Figura 21).

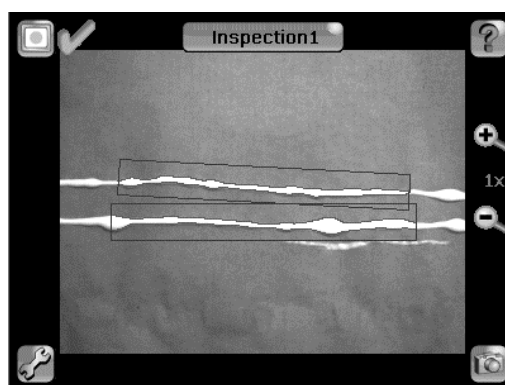


Figura 20: Inspeção feita com sucesso. Ferramenta Blamish configurada para reconhecer a cola.

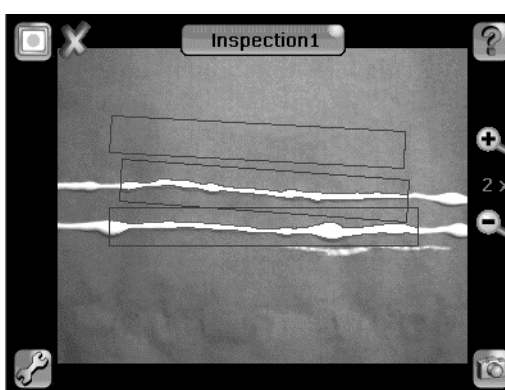


Figura 21: Inspeção falha. Ferramenta Blamish acusando ausência de cola.

5. IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO

A implementação descrita a seguir é a mesma para todas as máquinas em que o sistema foi replicado, pois o processo de colagem é igual para todas as máquinas.

A câmera e a iluminação especificadas foram instaladas na linha de produção. O ponto de inspeção é curto, logo que a cola era depositada no papel este já era entubado, isto limitou o local de instalação para um único possível. A câmera foi posicionada de acordo com a Figura 22. A instalação da iluminação não poderia ser feita perpendicularmente em relação ao papel, pois assim a cola não criaria sombra devido ao seu relevo, dificultando a leitura da câmera para casos em que o papel fosse de tonalidade parecida ao da cola. Então a iluminação foi instalada com 45° em relação ao papel.

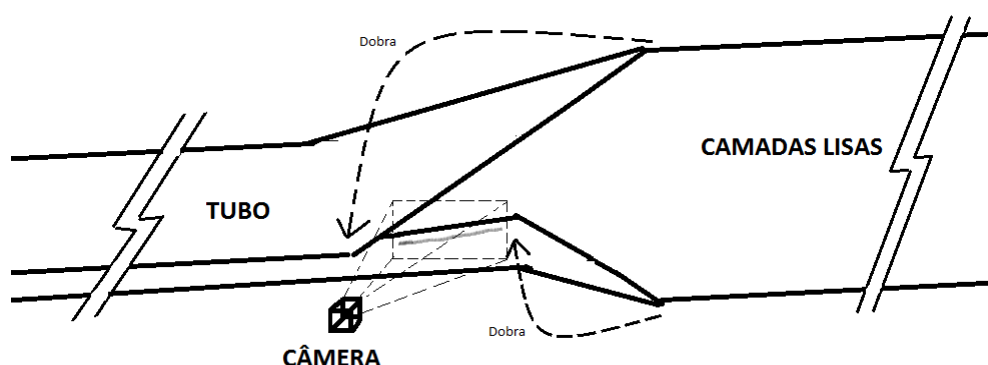


Figura 22: Local de instalação da câmera.

WLS28XW145SQ da marca BANNER foi a iluminação utilizada (ver Figura 23). A conexão elétrica é do tipo conector com dois pinos de saída, sendo estes para alimentação, +24V e 0V. Esta iluminação possui fluxo luminoso de 225 lumens [13], satisfatório para o bom funcionamento do projeto. Esta iluminação não é específica para sistemas de visão, porém como seu custo é reduzido em comparação às iluminações especiais de sistemas de visão, este foi o produto escolhido como parte da solução.



Figura 23: Iluminação BANNER, modelo WLS28XW145SQ.

A câmera necessita de um sinal para capturar a foto no tempo correto, e descartar a chance da foto ser tirada no momento em que o papel passe na transição dos sacos (momento da descontinuidade da linha de cola). Para isso foi instalado um sensor indutivo, como *trigger*, perpendicular ao cilindro metálico que deposita a cola no papel. Este cilindro possui fendas (para deixar sem cola o espaço entre os sacos), e a cada vez que o sensor detectasse uma fenda, um sinal elétrico é enviado para a câmera tirar uma foto (ver Figura 24), então em cada foto é garantida a presença de cola no papel.

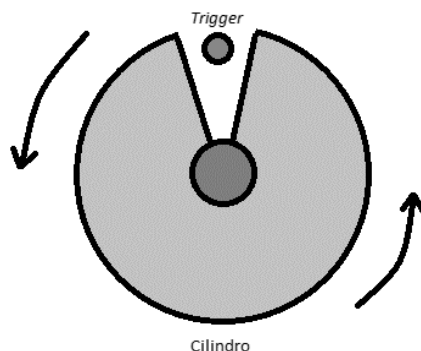


Figura 24: Esquemático da instalação do trigger.

O sensor de trigger utilizado foi Bi15U-M30-RP6X-H1141 da marca TURCK (ver Figura 25). O sensor possui formato cilíndrico rosqueado tamanho M30 x 1,5, com comprimento de 62mm. A conexão é do tipo conector com três pinos de saída, sendo dois de alimentação, +24V e 0V, e o último a saída digital 24V normalmente fechado (para que o sensor seja acionado apenas no espaço em que não há detecção do cilindro). A distância sensível deste sensor indutivo é de 15mm. A frequência de comutação deste sensor é 1kHz, frequência esta suficiente para a velocidade de

rotação do cilindro (150 rotações por minuto) [12]. Este sensor foi especificado pela sua funcionalidade e pelo preço reduzido.



Figura 25: Sensor indutivo TURCK, modelo BI10-M30-AP6X-H1141.

O intertravamento do sistema com a máquina, representado pela Figura 26, foi realizado como requisitado pela Klabin. Os cabos (linhas na representação) marrons são alimentação em corrente contínua +24 volts; os cabos azuis são alimentação em corrente contínua 0 volts; o cabo branco do *trigger* é o sinal digital +24 volts; o cabo rosa da câmera que está conectado com a saída digital do *trigger* é o sinal que ordena a captura da foto; o cabo branco da câmera é a saída digital +24 volts que acusa a falta de cola. A câmera detectando a falta de cola, envia um sinal elétrico para o controlador lógico programável da máquina, que por sua vez reduz a velocidade de produção para 50 sacos por minuto, e liga um sinal luminoso para alarmar defeito, então os funcionários podem realizar os procedimentos de correção. A redução de velocidade foi um requisito da Klabin, pois esta alternativa é mais rentável que a parada de máquina a qual exige que o papel nas células de produção anteriores ao da colagem seja retirado da máquina e um novo setup seja feito pois as tensões das folhas de papel diminuem e em alguns pontos as folhas perdem o contato com os rolos. Uma chave seletora foi instalada caso o operador desejasse desabilitar as funções da câmera.

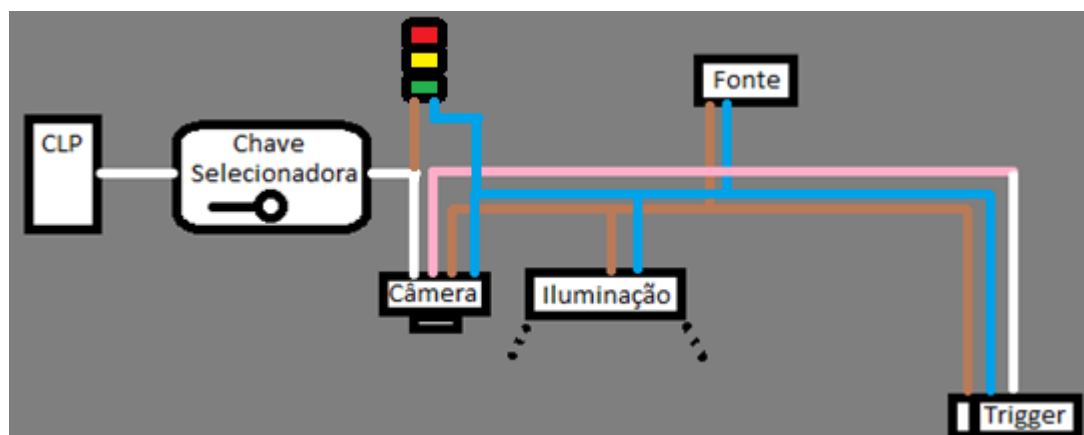


Figura 26: Representação do circuito do sistema.

O alarme luminoso utilizado foi o TL50GYRQ da marca BANNER (ver Figura 27). A torre possui formato cilíndrico, com 50mm de diâmetro com tecnologia LED. É possível integrar um dispositivo sonoro a esta torre, porém por requisição da Klabin o modelo audível não foi instalado. A conexão é do tipo conector com quatro pinos de saída, sendo estes utilizados para acionar as cores desejadas como demonstrado na Figura 28.



Figura 27: Alarme luminoso BANNER, modelo TL50GYRQ.

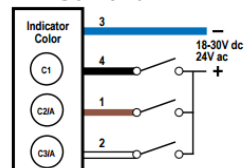
Fonte: [14] *BANNER ENGINEERING*. EZ-LIGHT® TL50 Tower Light. Disponível em: <http://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/142406.pdf>.

4 de Outubro de 2016.

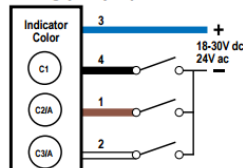
Wiring Diagram – 4-Pin Models

Models with 1 to 3 segments

Sourcing (PNP) Input



Sinking (NPN) Input



Key:

- 1 = Brown
- 2 = White
- 3 = Blue
- 4 = Black
- C1 = Color 1
- C2 = Color 2
- C3 = Color 3
- A = Audible

Pins 1 and 2 can activate the corresponding color or the audible function, if available.

Figura 28: Diagrama elétrico para acionamento da cor desejada.

A programação do CLP ficou a encargo da Klabin, pois este controla outras células da máquina. Entretanto a lógica *ladder* não seria de difícil integração, uma vez que o sinal digital de falta de cola fosse enviado pela câmera, o CLP deveria controlar o inversor que aciona os motores para diminuir a velocidade dos mesmos, assim como alterar o status da torre luminosa conforme desejado.

5.1. Calibração da ferramenta Blamish

Para garantir a funcionalidade do sistema, a ferramenta *Blamish* precisou ser calibrada corretamente, abaixo está descrito o passo a passo utilizado para tal:

- **Sensibilidade:** é o ajuste da intensidade de reconhecimento de bordas e manchas dentro da região de interesse da ferramenta, ao aumentar a taxa de sensibilidade determinadas manchas que não eram reconhecidas como manchas passa a ser (ver Figura 29);

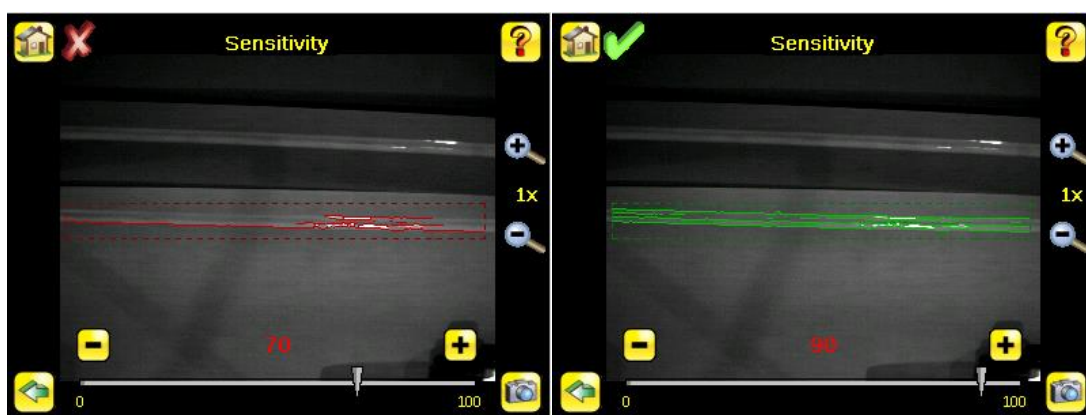


Figura 29: Exemplo de como melhor detectar a faixa de cola mudando a sensibilidade.

- **Tamanho da borda:** a ferramenta admite filtrar o tamanho das bordas que serão percebidas, podendo escolher filtrar manchas longas ou manchas curtas;
- **Teste de contagem:** aprova ou reprova a inspeção de acordo com o número de pixels detectados pela ferramenta, o quadrado amarelo fora

dos colchetes indica que a ferramenta Blamish detectou aquela quantidade de pixels, porém ela não é desejada, já o quadrado verde dentro dos colchetes indica que a detecção de uma macha com a quantidade de pixels desejada para aquela análise (ver Figura 30).

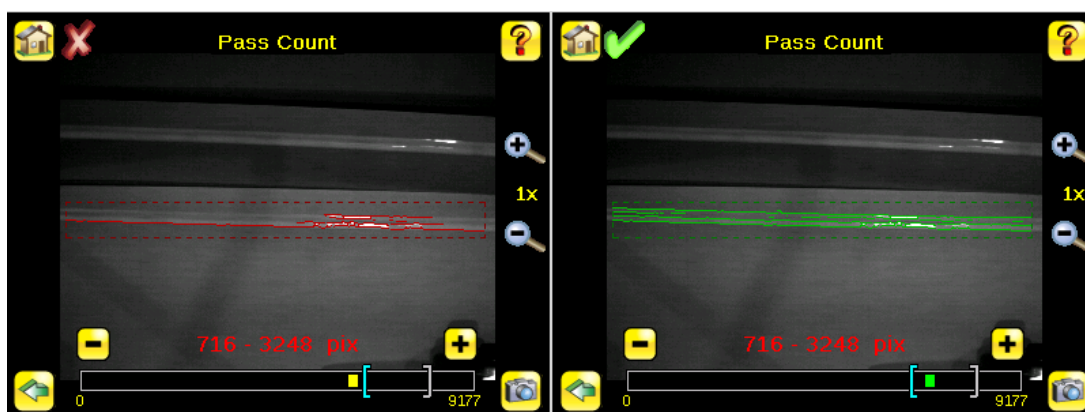


Figura 30: Exemplo de como configurar o número de pixels a ser aprovado.

Após a implementação do sistema final analisou-se a eficiência do sistema, que de acordo com a queda de reclamações dos clientes finais funcionou como desejado, detectando (ver Figura 31) corretamente (falha se não tem cola e aprovado caso tenha) boa parte dos lotes produzidos, cerca de 1 reclamação por mês.

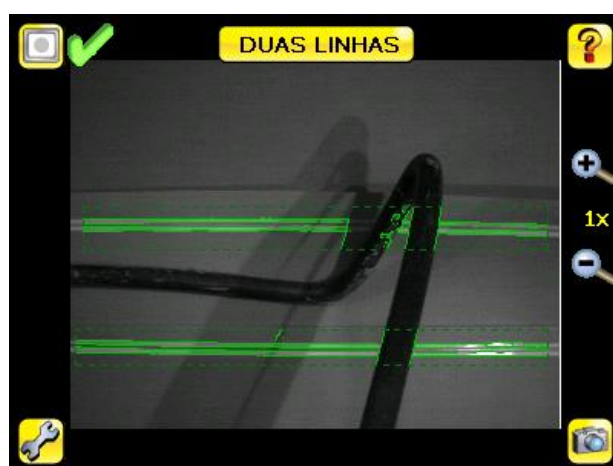


Figura 31: Imagem do funcionamento do sistema na máquina real.

A aplicação exigia que o sistema detectasse múltiplas linhas de cola (até quatro). A câmera possui capacidade para armazenar até trinta inspeções, com até dez ferramentas em cada inspeção. Uma inspeção para cada quantidade de linhas de cola foi feita (ver Figura 32). O sistema de visão proporciona flexibilidade ao processo garantindo a inspeção de até dez linhas de cola.



Figura 32: Programas guardados na memória da câmera.

5.2. Treinamento

Para utilizar o sistema de visão corretamente, foram oferecidos alguns dias de treinamento para os operadores dos três turnos de trabalho (manhã, tarde e noite). A capacitação dos funcionários consistiu em:

- Como posicionar corretamente as ferramentas. Para posicionar corretamente a ferramenta Blamish, deve-se centralizar a cola dentro do retângulo pontilhado verde, deixando uma margem de segurança para cima e para baixo (ver Figura 33);



Figura 33: Exemplos de posicionamento das ferramentas. Correto (esquerda) e incorreto (direita).

- Como trocar os programas caso haja mudança na receita de produção. Para trocar de programa, pressionar o menu amarelo “DUAS LINHAS” visto na Figura 33, e clicar em “Start Running” no programa desejado como demonstrado na Figura 34.



Figura 34: Inspeções preconfiguradas disponíveis na câmera.

O bom funcionamento depende diretamente da configuração das ferramentas. Geralmente os funcionários geram resistência à mudanças no procedimento. Como o sistema é de fácil configuração não houve muita dificuldade na aceitação. O treinamento teve duração de duas horas para cada turno de trabalho com a presença de 10 funcionários por turno. Foi requisitado para cada funcionário calibrar corretamente as ferramentas de acordo com o número de linhas de cola como também fazer a trocar de programa. Após os treinamentos, dois dias de acompanhamento da solução foram feitos para confirmar a correta operação do sistema. Neste período de acompanhamento, o gerente da linha de processo fiscalizou os operadores enquanto estes calibravam as ferramentas das câmeras, afim de confirmar a assimilação do

treinamento. Houveram casos em que os operadores calibravam erroneamente (uma única ferramenta Blamish para duas linhas de cola, detectando muita cola para uma ferramenta), gerando falso alarme pelo sistema implementado. Mesmo seguindo o passo a passo, o treinamento é periodicamente (sempre que há visita à empresa) reforçado para consolidar os procedimentos no dia a dia dos colaboradores.

6. RESULTADOS

Os resultados da implementação da solução do problema de falta de cola em sacos industriais foram satisfatórios.

Apesar do sensor de visão ser o dispositivo mais simples da linha de solução utilizando processamento de imagem, o sensor de visão iVu Plus TG Gen2 atendeu todas as expectativas. A baixa resolução de 0,34 megapixels não interferiu (como esperado) na análise, pois para este tipo de inspeção não era necessário uma imagem bem definida e com grandes detalhes. O espaço para armazenamento de diferentes tipos de inspeções (1, 2, 3 e 4 linhas de cola) atendeu aos requisitos, sobrando espaço caso queira ampliar o número de linhas. A velocidade de captura e processamento de imagem também atendeu as expectativas. Em questão de câmera especificada não foram encontrados grandes desafios.

O método de iluminação utilizada para adequar a imagem cumpriu seu objetivo. A iluminação do tipo direcional proporcionou a nítida visualização da cola mesmo quando esta era depositada em papel claro, devido à sombra criada pelo relevo de cola.

O valor agregado a este projeto foi grande, e por isso os tramites financeiros são um pouco mais demorados e as etapas de implementação demoraram. Porém o sistema ficou em teste neste meio tempo o que consolidou cada vez mais sua funcionalidade.

Os gestores da linha são encarregados de analisar o desempenho de produção utilizando alguns KPIs (*Key Performance Indicators*), como tempo de máquina em estado de falha, lotes perdidos e o número de reclamações feitas pelos clientes finais por vazamento de produto. Este último KPI é relacionado diretamente ao processo de colagem dos sacos, e a partir deste KPI pudemos concluir que após a implementação do sistema para teste o número de reclamações passou de uma média de 8 por mês para 1 a cada 3 meses, o que foi julgado pelo gestor um ganho considerável justificando a necessidade da solução apresentada neste documento. O KPI de lotes perdidos pode estar relacionado à falta de cola, pois em muitos casos o operador só notava a falta de cola nos sacos depois de horas da primeira falha. Após a implementação do sistema para teste o operador possui a indicação luminosa instantânea da falha agindo imediatamente. Eram contabilizados em média 900 sacos desperdiçados por falta de cola por ocorrência, o operador demorava 6 minutos em

média para detectar e solucionar o problema. Atualmente são contabilizados em média 225 sacos perdidos por falta de cola por ocorrência, o operador demora 1,5 minutos em média para detectar e solucionar o problema. O tempo de máquina em estado de falha é um KPI mais geral, que envolve todos os processos da linha como: falta de tinta nos tonéis; rompimento do papel em caso de excesso de tensão aplicada pelos rolos; falta ou excesso de sacos na etapa de separação em lotes para paletização. Como este KPI é genérico para a máquina, não pudemos extrair nenhuma informação relativa à solução implementada.

A solução permitiu que o colaborador que fazia a verificação da presença de cola nos sacos industriais pudesse ser remanejado para outro setor.

Com o sistema sendo testado por três meses, pudemos fazer uma análise financeira dos benefícios proporcionados afim de finalizar o processo de venda da solução. Os valores utilizados a seguir são proporcionais aos valores reais, pois a Sensorville deseja manter segurança sobre os preços praticados pela empresa.

A Klabin, calcula que o valor da reclamação de seus clientes é de R\$1,00. A média de reclamações feita pelos clientes sem a solução de detecção de cola nos sacos industriais é de 11 reclamações por mês, sendo aproximadamente 6 produtos diferentes por dia processados nas 13 máquinas dependendo da quantidade sacos encomendados. O custo do colaborador que fazia a verificação da presença de cola nos sacos industriais é de R\$20,00 ao mês. Estes são os gastos computados pela Klabin durante o funcionamento de 1 máquina, R\$32,00/mês. A Sensorville ofereceu a solução pelo valor de R\$180,00, e que de acordo com os testes resultaria em um gasto de R\$0,33/mês para a Klabin com reclamações. Então a solução oferecida se pagaria em um pouco menos de 6 meses. Os custos de mão de obra para instalação, treinamento, e desenvolvimento já estão embutidos no preço do projeto. O custo de máquina parada para instalação não foi computado, pois desligando a chave selecionadora o sistema não envia o sinal digital da análise feita para o CLP e este por sua vez não executa qualquer ação. Uma vez que a funcionalidade do sistema foi comprovada, a chave selecionadora poderia ser ligada. A instalação elétrica foi realizada paralelamente ao preventivo da máquina para que não fosse preciso parar a máquina para isso. O resultado da análise financeira pode ser traduzida pela Figura 35.

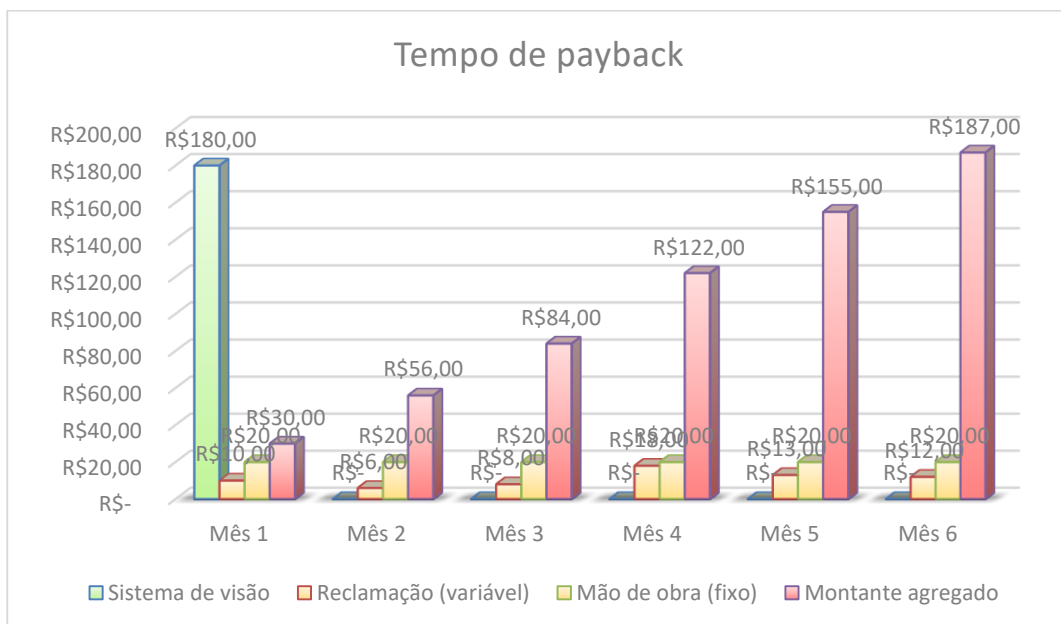


Figura 35: Gráfico do tempo de payback. Relaciona o investimento inicial feito a ganhos futuros.

Após a demonstração da análise financeira ao gestor da linha de processo, o sistema foi adquirido pois a Klabin reconheceu os benefícios da solução. Esta solução foi instalada nas plantas da Klabin, de Lages em Santa Catarina (projeto piloto), em Goiana no Pernambuco e em Pilar na Argentina.

7. CONCLUSÃO

Como conclusão, a implementação da melhoria atingiu as expectativas. A Klabin notou que o sistema é confiável e também os ganhos que ele proporcionou.

Alguns pressupostos assumidos na etapa de estudo de caso falharam, como no caso do funcionamento dos sensores de temperatura, de contraste e medição a laser, que funcionam para sistemas que são adequados para a instalação dos mesmos. E outros pressupostos tiveram sucesso, como é o caso da implementação do sensor de visão iVu Series e da utilização do método direcional de iluminação.

Os principais objetivos do projeto foram alcançados. Conseguiu-se encontrar uma solução para o problema utilizando os produtos representados pela Sensorville. Os testes de funcionalidade foram realizados em laboratório antes da apresentação da solução final. O sistema selecionado como solução ficou em teste por três meses para validação. E o feedback da solução implementada proporcionou a análise dos ganhos do sistema.

Como a máquina possui cerca de 150 metros de comprimento e diversas etapas de processo, melhorias nesta linha são inevitáveis ao passo que a tecnologia de automação industrial se desenvolve com grande rapidez. Porém o próximo passo é a melhoria requisitada para as máquinas de costura de uma das bocas do saco. É necessária uma solução para detectar se a boca a ser costurada é a correta (saco pode estar rotacionado em 180°), sendo o sistema de visão uma das soluções possíveis.

REFERÊNCIAS

[1] BANNER ENGINEERING. iVu Plus TG Gen2 Image Sensor: Instruction Manual. Disponível em: <http://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/179042.pdf>. 21 de Abril de 2015.

[2] BANNER ENGINEERING. VE Series Smart Camera: Instruction Manual. Disponível em: <http://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/191666.pdf>. 16 de Fevereiro de 2017.

[3] Microscan. MicroHAWK ID-20 / ID-30 / ID-40 User Manual. Disponível em: <http://files.microscan.com/downloadcenter/microhawkidmanual.pdf>. 2016.

[4] Microscan. AutoVISION Software User Manual. Disponível em: <http://files.microscan.com/downloadcenter/autovisionmanual.pdf>. 2015.

[5] IndustryARC. Machine Vision Camera Market: By Types (Vision Sensors, Smart Cameras, PC Systems) By Product Type (Area Scan, Line Scan, IR, Others) By Industry Verticals (Semiconductor, Automotive, F&B, Healthcare, Others) - Forecast (2016-2021). Disponível em: <http://industryarc.com/Report/15028/machine-vision-camera-market.html>. 07 de Fevereiro de 2017.

[6] Christopher M. Leary, W.H. Leary Co., Inc. The New Generation of Gluing Standards. Disponível em: <http://archive.fsea.com/article.asp?ID=135#.W0Ejj9LyvIU>. Agosto de 2011.

[7] T. S. Huang University of Illinois. Computer Vision: Evolution and Promise. Disponível em: <https://cds.cern.ch/record/400313/files/p21.pdf>.

[8] BANNER ENGINEERING. Q4X Stainless Steel Laser Sensor with Dual Discrete Outputs and IO-Link Instruction Manual. Disponível em:

<http://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/190074.pdf>.
17 de Janeiro de 2017.

[9] Microscan. NERLITE MACHINE VISION LIGHTING. Disponível em:
http://files.microscan.com/NERLITE/nerlite_brochure.pdf.

[10] BANNER ENGINEERING. T-GAGE® M18T Series Sensor. Disponível em:
<http://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/120632.pdf>.
21 de Outubro de 2015.

[11] Vision Online Marketing Team. Basic Illumination Techniques for Machine Vision. Disponível em: <http://www.visiononline.org/blog-article.cfm/Basic-Illumination-Techniques-for-Machine-Vision/54>. 27 de Dezembro de 2016.

[12] TURCK. Inductive sensor Bi15U-M30-RP6X-H1141. Disponível em:
http://pdb2.turck.de/repo/media/_en/Anlagen/Datei_EDB/edb_1636739_gbr_en.pdf.
26 de Fevereiro de 2017.

[13] BANNER ENGINEERING. WLS28 Work Light Strip. Disponível em:
<http://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/154514.pdf>.
06 de Outubro de 2015.

[14] BANNER ENGINEERING. EZ-LIGHT® TL50 Tower Light. Disponível em:
<http://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/142406.pdf>.
4 de Outubro de 2016.