



**FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC  
ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO CONTROLE E ROBÓTICA**

**TIAGO DA SILVA CRUZ**

**SISTEMA DE SEGURANÇA USANDO VISÃO COMPUTACIONAL BASEADO NA  
ANÁLISE DE MOVIMENTO**

**SALVADOR - 2015**

TIAGO DA SILVA CRUZ

**SISTEMA DE SEGURANÇA USANDO VISÃO COMPUTACIONAL BASEADO NA  
ANÁLISE DE MOVIMENTO**

Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia  
SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção  
do Título de Especialista em Automação Controle e  
Robótica.

Professor Orientador: Prof. Me. Oberdan Rocha Pinheiro

SALVADOR - 2015

TIAGO DA SILVA CRUZ

**SISTEMA DE SEGURANÇA USANDO VISÃO COMPUTACIONAL BASEADO NA  
ANÁLISE DE MOVIMENTO**

Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia  
SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção  
do Título de Especialista em Automação Controle e  
Robótica.

Salvador, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Me. Oberdan Rocha Pinheiro  
SENAI CIMATEC

---

Prof. (Nome do professor avaliador)  
Afiliações

---

Prof. (Nome do professor avaliador)  
Afiliações

SALVADOR - 2015

*Este trabalho de conclusão é dedicado primeiramente a Deus, e em segundo a minha família que me deu a oportunidade de estar cursando.*

*“Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer.*

*Albert Einstein.*

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer ao apoio e à oportunidade cedida pelo SENAI-BA através da Especialização em Automação e Controle e Robótica.

Ao orientador Prof. Me. Oberdan Pinheiro, como coordenador do programa de especialização e como orientador deste trabalho, gostaria de agradecer pela oportunidade e pela paciência que me foi dada na elaboração da monografia.

Aos colegas de curso, que me ajudaram com conhecimentos trocados e adquiridos ao longo da formação.

A minha família que me ajudou no decorrer de todo o curso.

A Deus, pois toda honra e glória tem que ser dada a ele, inclusive em pequenas coisas.

## RESUMO

O uso da Robótica na automação de processos, é uma área que se encontra em ascensão, onde a atual demanda econômica requer linhas de produção cada vez mais eficientes com elevada percepção sensorial, e garantia de segurança nos processos. Nesse contexto de crescente preocupação com as condições de segurança nos ambientes industriais, alinhada ao crescimento da automatização de muitos processos, melhorar o nível de segurança aplicando métodos que garantam a redundância nas informações geradas pelos dispositivos empregados, é o objetivo que a monografia apresenta. A arquitetura e a implementação de uma aplicação em visão computacional, voltada ao controle de movimento Run-Stop do robô industrial a medida que pessoas se aproximam do processo, de modo que se aumente a segurança do processo sem a necessidade de tempo ocioso do mesmo. Baseando-se em recomendações normativas, com objetivo de reduzir as condições inseguras, em especial em ambientes robotizados, foram consideradas normas vigentes, como a ISO 10218 – Robô de Manipulação Industrial, norma Especifica para robotização, a norma NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos.

Palavras-chave: Robótica, visão computacional, Segurança

## **ABSTRACT**

The use of Robotics in process automation is an area that is on the rise, where the current economic demand requires production lines more efficient with high sensory perception, and security assurance in the processes. In this context of growing concern about the safety conditions in industrial environments, in line with the growth of the automation of many processes, improve the level of security by applying methods that ensure redundancy in the information generated by employees devices, it is the goal that the monograph presents. The architecture and the implementation of an application in Computer Vision, focused on the Run-Stop motion control industrial robot as people approach the process, so that they increase the safety of the process without the need to idle the same time. Based on policy recommendations, in order to reduce unsafe conditions, especially in robotic environments, current regulations were considered, such as ISO 10218 - Industrial Handling Robot, robot for standard specifies the NR-12 standard - Workplace Safety in machinery and equipment.

.

Keywords: Robotics, Computer Vision, Security

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Elementos Estruturais do Robô.....	21
Figura 2 - Divisão da ISO 10218 .....	21
Figura 3 - Estrutura de área de trabalho em Célula Robótica.....	22
Figura 4 - Espaço Restrito e Espaço Protegido.....	23
Figura 5 - Modelo de Aquisição de imagens .....	24
Figura 6 - Kinect.....	25
Figura 7 - Representação Imagem monocromática.....	28
Figura 8 - Representação RGB .....	29
Figura 9 - Binarização/Greyscale .....	31
Figura 10 - Segmentação apresentada por Stauffer.....	34
Figura 11 - Resultado da segmentação ao longo das interações .....	34
Figura 12 - Fluxograma do Projeto.....	39
Figura 13 - Webcam – Aquisição de Imagem.....	39
Figura 14 - Processamento de Imagem .....	40
Figura 15 - Detecção do Rosto .....	41
Figura 16 - Exemplo de Conexão TCP/IP .....	42
Figura 17 - Código de Comunicação com Robô ABB.....	42
Figura 18 - Teste de Reconhecimento 1 .....	43
Figura 19 - Teste de Reconhecimento 2 .....	44

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	12
1.1.1 OBJETIVO .....	12
1.2 ORGANIZAÇÃO DA MONOGRAFIA.....	13
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
2.1 NORMAS SEGURANÇA.....	15
2.1.1 NR12.....	15
2.1.1.1 NR12 – ASPECTOS DE SGURANÇA .....	15
2.1.1.1.1 NR12 - ARRANJO FÍSICO E INSTALAÇÕES.....	16
2.1.1.1.2 NR12 - INSTALAÇÕES E DISPOSITIVOS ELÉTRICOS.....	17
2.1.1.1.3 NR12 - SISTEMAS DE SEGURANÇA .....	18
2.1.2 ISO 10218.....	20
2.2 VISÃO COMPUTACIONAL .....	23
2.2.1 ANÁLISE DO MOVIMENTO.....	25
2.2.2 CLASSIFICAÇÃO DO MOVIMENTO .....	26
2.3 CAPTURA DA IMAGEM.....	27
2.4 PROCESSAMENTO DE IMAGENS .....	29
2.4.1 PRE-PROCESSAMENTO DE IMAGENS.....	30
2.4.2 SEGMENTAÇÃO .....	32
2.4.2.1 TEMPORAL.....	32
2.4.2.2 ESPACIAL.....	33
2.4.3 REPRESENTAÇÃO .....	35
<b>3. PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO</b> .....	<b>36</b>
3.1 TECNOLOGIA UTILIZADA .....	36
3.1.1 WEBCAM.....	36
3.1.2 IDE CODEBLOCKS .....	36
3.1.2 LINUX UBUNTO .....	37
3.1.3 C++ .....	37
3.1.3 OPENCV .....	38

3.2 IMPLEMENTAÇÃO.....	38
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>43</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>45</b>
5.1 TRABALHOS FUTUROS .....	45
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>46</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>54</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA**

O grande crescimento do setor de robótica dentro das indústrias se justifica pela agilidade, praticidade e confiabilidade que o processo entrega. O avanço da tecnologia em sistemas industriais utilizando a robótica, tem tornando essa área um minadouro de pesquisas, onde segundo estudos realizados, a robótica tem potencial para ser uma das linhas de pesquisa com mais trabalhos em escala mundial, nas próximas décadas.

Um grande desafio encontrado em ambientes automatizados, a exemplo de células robotizadas, é a vasta quantidade de sensores utilizados, tanto para segurança do homem na interação com o processo quanto no uso de sensores para o posicionamento correto do produto e a verificação do mesmo e devido a necessidade da interação do homem com os processos, não só para manipulá-los mas participando também num contexto geral em um ambiente industrial como por exemplo, limpar o chão da fábrica, reposição de insumos dentre outros, se faz necessário testes e simulação que propiciem potencializar o conhecimento e a difusão da pesquisa no âmbito da robótica, principalmente pelo fato de áreas como a da inteligência artificial, sistema de controles avançados, sensores e atuadores, controle de processo, programação, redes, micro controladores, identificação de sistemas, entre outras.

#### **1.1.1 OBJETIVO**

Uma solução que será apresentada nesse trabalho é o uso de reconhecimento de imagens por visão computacional. Essa tecnologia já se encontra presente em diversos contextos como: ambientes industriais para seleção de peças, sistemas de segurança para transporte, tecnologia médica, entre outros. A análise de movimento por visão computacional tem se desenvolvido ao longo dos anos, principalmente na análise do movimento do corpo humano, dentre as mais conhecidas aplicações estão a capturar de movimentos para filmes, o famoso console de vídeo game Xbox, câmeras de segurança, os recentes avanços tecnológicos, também contribuíram

para a evolução neste domínio, ao ser permitida a captura, transferência e processamento de imagens em tempo real em sistemas de *hardware* cada vez mais usuais. A análise do movimento do corpo humano tem vindo a ser motivada pela vantagem de melhorar a interação homem/máquina. Desta maneira, a integração de um sistema de visão computacional através de mecanismos robóticos resulta em linhas de produção mais eficientes, velozes e com um nível maior de segurança.

Uma definição apropriada para a técnica de visão artificial ou visão computacional, é que pode ser classificada como a ação de um determinado atuador em função de imagens coletadas em tempo real e devidamente processadas, a partir dessa simples definição, esse trabalho se propõe a demonstrar como a visão computacional pode ser aplicada na área de segurança industrial, atrelada a ambientes que utilizam robôs em seus processos, controlando a velocidade e posição dos robôs a medida que alguém se aproxima de sua área de trabalho para realizar alguma atividade, proporcionando uma diminuição do tempo ocioso e uma qualidade melhor no que se refere a segurança no ambiente industrial em conformidade com a ISO 10218 e a NR12. A implantação desse tipo de sistema requer estudo e aplicação de técnicas que abrangem desde a estrutura do local de trabalho do robô, principalmente no que se refere à, processo, iluminação, aquisição e processamento de imagens, até o controle do atuador final. Enquanto sistemas de visão computacional avaliam múltiplas características em alta velocidade e podem ser inseridos em ambientes de risco, necessitando apenas de um ambiente com condições controladas e preparadas para receber essa forma de análise de segurança.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DA MONOGRAFIA

À seguir, o trabalho de conclusão de curso está dividido nos seguintes tópicos:

- Capítulo 1 - Introdução - Contextualiza o âmbito no qual o projeto de conclusão de curso está inserido. Os objetivos e as justificativas do trabalho, além do estado da arte na área de pesquisa, são apresentados nesta seção.

- Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica - abordará a parte conceitual que fundamentou a pesquisa e o desenvolvimento do projeto
- Capítulo 3 - Projeto e Implementação - trará os detalhes técnicos da proposta da solução para os objetivos do projeto e a construção do trabalho.
- Capítulo 4 -Resultados - mostrarão as avaliações dos testes realizados e os comentários sobre as informações alcançadas.
- Capítulo 5 - Conclusão - fechará o trabalho da monografia com as considerações finais sobre o desenvolvimento e os resultados do trabalho. Além disso, as sugestões para trabalhos futuros serão realizadas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 NORMAS SEGURANÇA

Serão apresentados nesta etapa aspectos de segurança que são necessários para caracterizar o ambiente seguro de uma indústria automatizada. O conceito de segurança industrial nesse trabalho será norteado por duas normas, a NR12 e a ISO10218.

#### 2.1.1 NR12

Qualquer trabalho pode ser perfeitamente executado, desde que os cuidados necessários sejam observados por todos os que dele participam. A experiência tem mostrado que a principal fonte de acidentes ainda é o "Ato Inseguro", ou seja, descuido, desatenção, imprudência, desrespeito às normas de segurança, etc. Para que os processos e procedimentos sejam executados de maneira que a segurança seja uniforme foram criadas as NR. As normas regulamentadoras (NR's) dão um direcionamento para o desenvolvimento das ações e obrigações das empresas, em especial as ações relativas às medidas de prevenção, controle e eliminação de riscos, inerentes ao trabalho e à proteção da saúde do trabalhador.

A NR12, será abordada nesse trabalho, devido a sua característica regulamentadora editada pelo Ministério do Trabalho e Emprego, que fornece orientações sobre procedimentos obrigatórios relacionados à segurança do trabalho quando na instalação, operação e manutenção de máquinas e equipamentos. Sua existência legal é assegurada pelos artigos 184 a 186 da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) e pela portaria nº 3214, de 08 de Junho de 1978, que aprova as NRs.

##### 2.1.1.1 NR12 – ASPECTOS DE SGURANÇA

12.1. Esta Norma Regulamentadora e seus anexos definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos, e ainda à sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer

título, em todas as atividades econômicas, sem prejuízo da observância do disposto nas demais Normas Regulamentadoras - NR aprovadas pela Portaria n.º 3.214, de 8 de junho de 1978, nas normas técnicas oficiais e, na ausência ou omissão destas, nas normas internacionais aplicáveis.

(Redação dada pela Portaria SIT) n.º 197, de 17/12/10)

A NR12 em sua extensão abrange várias áreas de um contexto industrial, devido a sua grande abrangência, serão apresentados apenas alguns aspectos mais significativos, que são necessários para fazer a relação da segurança com utilização de robôs nas indústrias. Segundo a norma regulamentadora NR12:

#### 2.1.1.1.1 NR12 - ARRANJO FÍSICO E INSTALAÇÕES

- 12.6. Nos locais de instalação de máquinas e equipamentos, as áreas de circulação devem ser devidamente demarcadas e em conformidade com as normas técnicas oficiais.
- 12.6.1. As vias principais de circulação nos locais de trabalho e as que conduzem às saídas devem ter, no mínimo, 1,20 m (um metro e vinte centímetros) de largura.
- 12.8. Os espaços ao redor das máquinas e equipamentos devem ser adequados ao seu tipo e ao tipo de operação, de forma a prevenir a ocorrência de acidentes e doenças relacionados ao trabalho.
- 12.8.1. A distância mínima entre máquinas, em conformidade com suas características e aplicações, deve garantir a segurança dos trabalhadores durante sua operação, manutenção, ajuste, limpeza e inspeção, e permitir a movimentação dos segmentos corporais, em face da natureza da tarefa.
- 12.8.2. As áreas de circulação e armazenamento de materiais e os espaços em torno de máquinas devem ser projetados, dimensionados e mantidos de forma que os trabalhadores e os transportadores de materiais, mecanizados e manuais, movimentem-se com segurança.

- 12.9. Os pisos dos locais de trabalho onde se instalam máquinas e equipamentos e das áreas de circulação devem ser mantidos limpos e livres de objetos, ferramentas e quaisquer materiais que ofereçam riscos de acidentes, ter características de modo a prevenir riscos provenientes de graxas, óleos e outras substâncias e materiais que os tornem escorregadios, e ser nivelados e resistentes às cargas a que estão sujeitos.
- 12.11. As máquinas estacionárias devem possuir medidas preventivas quanto à sua estabilidade, de modo que não basculhem e não se desloquem intempestivamente por vibrações, choques, forças externas previsíveis, forças dinâmicas internas ou qualquer outro motivo accidental.
- 12.13. As máquinas, as áreas de circulação, os postos de trabalho e quaisquer outros locais em que possa haver trabalhadores devem ficar posicionados de modo que não ocorra transporte e movimentação aérea de materiais sobre os trabalhadores.

#### 2.1.1.1.2 NR12 - INSTALAÇÕES E DISPOSITIVOS ELÉTRICOS

- 12.14. As instalações elétricas das máquinas e equipamentos devem ser projetadas e mantidas de modo a prevenir, por meios seguros, os perigos de choque elétrico, incêndio, explosão e outros tipos de acidentes, conforme previsto na NR 10.
- 12.16. As instalações elétricas das máquinas e equipamentos que estejam ou possam estar em contato direto ou indireto com água ou agentes corrosivos devem ser projetadas com meios e dispositivos que garantam sua blindagem, estanqueidade, isolamento e aterramento, de modo a prevenir a ocorrência de acidentes.
- 12.20. As instalações elétricas das máquinas e equipamentos que utilizem energia elétrica fornecida por fonte externa devem possuir dispositivo protetor

contra sobre corrente, dimensionado conforme a demanda de consumo do circuito.

#### 2.1.1.1.3 NR12 - SISTEMAS DE SEGURANÇA

- 12.38. As zonas de perigo das máquinas e equipamentos devem possuir sistemas de segurança, caracterizados por proteções fixas, proteções móveis e dispositivos de segurança interligados, que garantam proteção à saúde e à integridade física dos trabalhadores.
- 12.38.1. A adoção de sistemas de segurança, em especial nas zonas de operação que apresentem perigo, deve considerar as características técnicas da máquina e do processo de trabalho e as medidas e alternativas técnicas existentes, de modo a atingir o nível necessário de segurança previsto nesta Norma.
- 12.39. Os sistemas de segurança devem ser selecionados e instalados de modo a atender aos seguintes requisitos:
  - a) ter categoria de segurança conforme prévia análise de riscos prevista nas normas técnicas oficiais vigentes;
  - b) estar sob a responsabilidade técnica de profissional legalmente habilitado;
  - c) possuir conformidade técnica com o sistema de comando a que são integrados;
  - d) instalação de modo que não possam ser neutralizados ou burlados;
  - e) manterem-se sob vigilância automática, ou seja, monitoramento, de acordo com a categoria de segurança requerida, exceto para dispositivos de segurança exclusivamente mecânicos; e
  - f) paralisação dos movimentos perigosos e demais riscos quando ocorrerem falhas ou situações anormais de trabalho.

- 12.40. Os sistemas de segurança, de acordo com a categoria de segurança requerida, devem exigir rearme, ou reset manual, após a correção da falha ou situação anormal de trabalho que provocou a paralisação da máquina.
  
- 12.41. Para fins de aplicação desta Norma, considera-se proteção o elemento especificamente utilizado para prover segurança por meio de barreira física, podendo ser:
  - a) proteção fixa, que deve ser mantida em sua posição de maneira permanente ou por meio de elementos de fixação que só permitam sua remoção ou abertura com o uso de ferramentas específicas; e
  - b) proteção móvel, que pode ser aberta sem o uso de ferramentas, geralmente ligada por elementos mecânicos à estrutura da máquina ou a um elemento fixo próximo, e deve se associar a dispositivos de Inter travamento.
  
- 12.42. Para fins de aplicação desta Norma, consideram-se dispositivos de segurança os componentes que, por si só ou interligados ou associados a proteções, reduzam os riscos de acidentes e de outros agravos à saúde, sendo classificados em:
  - a) comandos elétricos ou interfaces de segurança: dispositivos responsáveis por realizar o monitoramento, que verificam a interligação, posição e funcionamento de outros dispositivos do sistema e impedem a ocorrência de falha que provoque a perda da função de segurança, como relés de segurança, controladores configuráveis de segurança e controlador lógico programável - CLP de segurança;
  - b) dispositivos de Inter travamento: chaves de segurança eletromecânicas, com ação e ruptura positiva, magnéticas e eletrônicas codificadas, optoeletrônicas, sensores indutivos de segurança e outros dispositivos de segurança que possuem a finalidade de impedir o funcionamento de elementos da máquina sob condições específicas;
  - c) sensores de segurança: dispositivos detectores de presença mecânicos e não mecânicos, que atuam quando uma pessoa ou parte do seu corpo adentra a zona de perigo de uma máquina ou equipamento, enviando um sinal para interromper ou impedir o início de funções perigosas, como

cortinas de luz, detectores de presença opto eletrônicos, laser de múltiplos feixes, barreiras óticas, monitores de área, ou scanners, batentes, tapetes e sensores de posição;

d) válvulas e blocos de segurança ou sistemas pneumáticos e hidráulicos de mesma eficácia;

e) dispositivos mecânicos, como: dispositivos de retenção, limitadores, separadores, empurradores, inibidores, defletores e retráteis; e

f) dispositivos de validação: dispositivos suplementares de comando operados manualmente, que, quando aplicados de modo permanente, habilitam o dispositivo de acionamento, como chaves seletoras bloqueáveis e dispositivos bloqueáveis.

### 2.1.2 ISO 10218

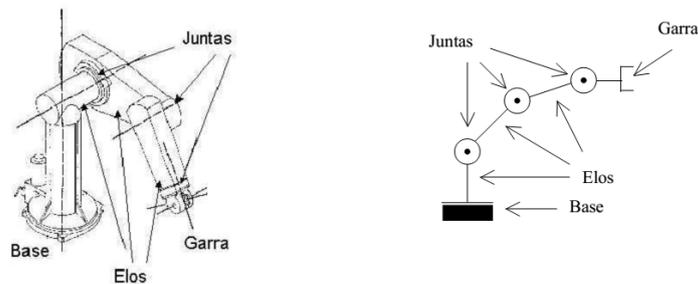
A ISO (International Organization for Standardization) é definida como sendo uma organização não-governamental composta pelos órgãos nacionais de padronização dos países integrantes. A ISO funciona de forma a gerar padrões de projeto, fabricação e uso de máquinas de maneira mais eficiente, mais seguro e mais limpo, outra vantagem é que torna o comércio entre os países mais fácil e mais justo.

Mas para explicar o porquê dá existência de uma ISO específica para robôs industriais, é necessário explicar como funciona e como se comporta um robô industrial. Baseado numa definição da Robotic Industries Association (RIA), robô industrial é um "manipulador multifuncional reprogramável projetado para movimentar materiais, partes, ferramentas ou peças especiais, através de diversos movimentos programados, para o desempenho de uma variedade de tarefas" (RIVIN, 1988).

Uma definição mais completa é apresentada pela norma ISO (International Organization for Standardization) 10218, como sendo: "uma máquina manipuladora com vários graus de liberdade controlada automaticamente, reprogramável, multifuncional, que pode ter base fixa ou móvel para utilização em aplicações de automação industrial".

Um robô industrial é formado pela integração dos seguintes componentes: manipulador mecânico: refere-se principalmente ao aspecto mecânico e estrutural do robô. A Figura 1 mostra como consiste a combinação de elementos estruturais rígidos (corpos ou elos) conectados entre si através de articulações (juntas), sendo o primeiro corpo denominado base e o último extremidade terminal, onde será vinculado o componente efetuator (garra ou ferramenta).

Figura 1 - Elementos Estruturais do Robô



Fonte: (SANTOS, V. M. F, 2010)

Essa norma [ISO 10218, 2011] foi criada devido aos riscos particulares presentes nos sistemas robotizados. A Figura 2 mostra as duas divisões da ISO que fornece orientações sobre as considerações de uso, projeto de segurança, construção, programação, operação, manutenção e reparo de robôs industriais e sistemas robóticos.

- Parte 1, intitulado "Robôs"
- Parte 2, intitulado "Robôs e integração de sistemas."

Figura 2 - Divisão da ISO 10218

### Safety Standards for Applications of Industrial Robots ISO 10218-1, ISO 10218-2

#### ISO 10218-1

- Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 1: **Robots**
- Scope
  - Industrial use
  - Controller
  - Manipulator
- Main references
  - ISO 10218-2 – Robot systems and integration
- Common references
  - ISO 13849-1 / IEC 62061 – Safety-related parts of control systems
  - IEC 60204-1 – Electrical equipment (stopping func.)
  - ISO 12100 – Risk assessment
  - ISO 13850 – E-stop

#### ISO 10218-2

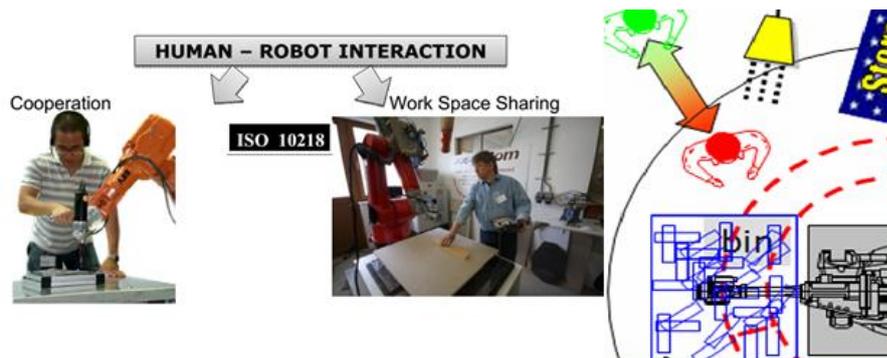
- Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 2: **Robot systems and integration**
- Scope
  - Robot (see Part 1)
  - Tooling
  - Work pieces
  - Periphery
  - Safeguarding
- Main references
  - ISO 10218-1 – Robot
  - ISO 11161 – Integrated manufacturing systems
  - ISO 13854 – Minimum gaps to avoid crushing
  - ISO 13855 – Positioning of safeguards
  - ISO 13857 – Safety distances
  - ISO 14120 – Fixed and movable guards

ABB

Fonte: (ABB ISO 10218, 2011)

Considera-se como um sistema robótico, o robô, o efetuator e qualquer dispositivo, equipamento ou sensor necessário para que o robô execute sua tarefa. Pode ser visto na Figura 3 uma célula robótica, que compreende o sistema robótico mais os equipamentos dentro da área protegida. Para uma célula robótica, a área protegida deve ser avaliada de modo a se determinar o grau de risco e a distância adicional necessário para o espaço máximo que as barreiras devem proteger

Figura 3 - Estrutura de área de trabalho em Célula Robótica



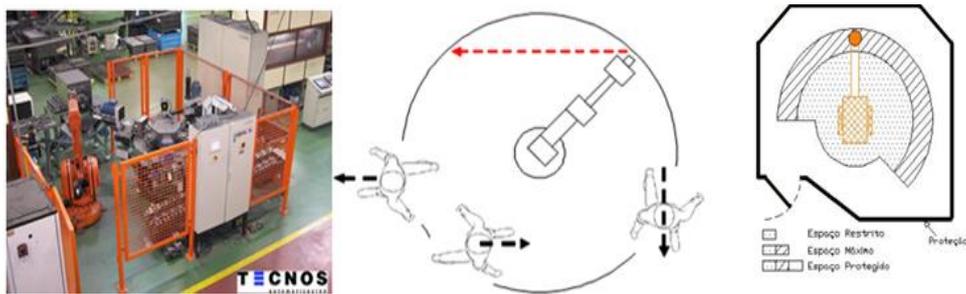
Fonte: (ABB ISO 10218, 2011)

Devido à grande extensão de diretrizes dessa ISO, é necessário selecionar apenas alguns aspectos mais relevantes e coerentes com o trabalho apresentado, tais como:

- Estabelecer um espaço protegido e espaço restrito;
- Definir dispositivos de segurança que consigam intervir no caso de uma ocorrência imprevista dentro do espaço protegido.
- O projeto do robô deve ser associado ao layout adotado na célula robótica
- Estabelecer os limites físicos em três dimensões da célula robótica integrados ao sistema de produção, representando os equipamentos em escala e os posicionando dentro das instalações disponíveis;
- Na Figura 4 é mostrado o espaço de trabalho, acessos e espaço livre.

- Deve-se identificar o máximo alcance do robô, estabelecer a área restrita e áreas de operação identificando os espaços livres necessários para a operação, manutenção, limpeza e identificação também os obstáculos, como visto na Figura 4.
- Nas instalações, traçam-se rotas para pedestres e materiais identificando cabos e outros riscos para tropeçar ou escorregar.

Figura 4 - Espaço Restrito e Espaço Protegido



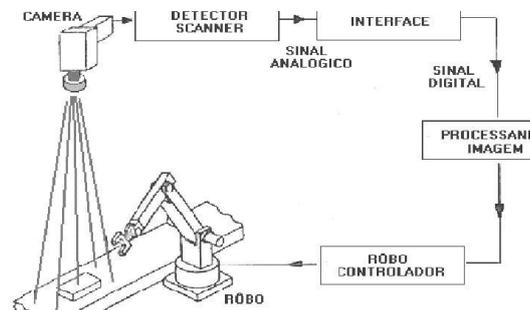
Fonte: (ABB ISO 10218, 2011)

## 2.2 VISÃO COMPUTACIONAL

Para compreender como a visão computacional vai se encaixar no contexto de segurança industrial deste trabalho, é necessário saber o que é visão computacional, e quais os procedimentos para obtê-la.

Visão computacional é um sistema que faz uso de um dispositivo de captura de vídeo (por exemplo, webcam, ou câmeras IP) e realiza a amostragem da imagem do local em instantes de tempo definidos. A imagem captada é uma representação a duas dimensões de um espaço tridimensional. A Figura 5 mostra um esquema simples de aquisição de imagens.

Figura 5 - Modelo de Aquisição de imagens



Fonte: (GRASSI, M, V,2005)

A imagem captada representa um ambiente com determinados objetos, que podem ser os mesmos mas terem imagens diferentes, por exemplo através da iluminação a que o objeto está exposto, ou da sua sombra, ou da cor, alguns autores definem esses aspectos:

- **Luz:** Segundo Forsyth e Ponce (2011), a iluminação depende da intensidade da luz e da geometria. Mas a intensidade em si pode variar não só consoante a fonte da mesma, mas também com outros fatores como por exemplo a direção da mesma ou a reflexão por parte de outras superfícies.
- **Reflexão:** Segundo os autores Forsyth e Ponce (2011), a reflexão da radiação por parte de outros elementos tem o nome de Diffuse Reflection, pode ela mesma ser dependente de outros fatores, como por exemplo a direção da radiação ou a matéria do objeto.
- **Sombra:** gera formas complexas, derivadas da geometria do objeto e da fonte de radiação e que possuem fronteiras ténues. Embora se possa pensar que na análise computacional de uma imagem a sombra possa dificultar (facto que pode acontecer), esta pode também ajudar a inferir a informação face à exposição do objeto/ambiente.
- **Cor:** a sensibilidade de captação, quer do olho humano, quer dos equipamentos de captação de imagens é bastante variável. A cor captada varia ainda com os outros fatores já descritos (por exemplo a iluminação). No entanto, existem algoritmos que permitem corrigir ou melhorar uma imagem,

mesmo quando esta é captada num ambiente que distorce a sua real cor.

Outra parte importante, após a aquisição das imagens, é o processamento da mesma, onde através das imagens obtidas, o sistema é capaz de detectar se houve uma alteração significativa do ambiente monitorado, podendo assim detectar uma possível invasão dessa área supervisionada, que é o objetivo deste trabalho.

### 2.2.1 ANALISE DO MOVIMENTO

Com crescimento e o desenvolvimento cada vez maior de software e hardware de grande qualidade, principalmente na parte de sensoriamento, tem catalisado a pesquisas na área de análise do movimento através da visão computacional, principalmente no que se diz respeito a análise dos movimentos do corpo humano, sendo esta uma das áreas de maior interesse do mercado no campo da visão computacional, a exemplo do Kinect que é mostrado na Figura 6 ,que é uma câmera para reconhecimento de movimentos para jogos de Vídeo Game no Xbox 360.

Figura 6 - Kinect



Fonte: (PAULA, C. B,2011)

A análise do movimento do corpo humano, tem sido motivada pelo objetivo de melhorar a interação homem/máquina nas diversas aplicações da tecnologia, onde segundo Pinho, (2004), o domínio da análise de movimento, recorrendo à visão computacional, comporta já hoje, um vasto outro leque de aplicações práticas como

por exemplo: a análise do tráfego automóvel, a previsão da condição atmosférica com base na movimentação das nuvens, ou a análise da deformação de materiais.

### 2.2.2 CLASSIFICAÇÃO DO MOVIMENTO

Antes de se iniciar o processamento das imagens capturadas é preciso analisar o movimento que está sendo capturado, porém um problema da análise de movimento é a determinação do movimento de um objeto a partir de uma sequência de imagens, 2D ou 3D, capturadas em dois ou mais instantes de tempo. Segundo Tavares, (1995, 1995<sup>a</sup>), o problema designado por obtenção da estrutura a partir do movimento apresenta ainda um objetivo adicional: obtenção da estrutura geométrica e também dos parâmetros do movimento a partir de uma sequência de projeções

A restrição de rigidez dos corpos, assumindo que os objetos têm formas constantes é inadequada em muitas ocasiões, pois muitos objetos reais são deformáveis. Por exemplo: as árvores balançam, as folhas de papel dobram-se, as roupas enrugam-se, o corpo humano apresenta movimento contínuo não rígido, etc.

O autor Kambhamettu (1998), define algumas classificações do movimento de objetos 3D:

- Movimento rígido – a distância entre quaisquer dois pontos do objeto é preservada. O objeto não estica nem dobra; desse modo, a curvatura média e a curvatura Gaussiana na superfície mantêm-se invariantes.
- Movimento articulado – conjunto de elementos cada um dos quais com movimento rígido. Envolve o movimento de partes rígidas conectadas por ligações não rígidas. Claramente neste caso as restrições de rigidez são mais relaxadas
- Movimento quase rígido – as deformações são limitadas a pequena amplitude. Quando visto em intervalos de tempo suficientemente reduzidos o movimento não rígido entre imagens é quase rígido.

- Movimento isométrico – movimento não rígido que preserva o comprimento ao longo da superfície assim como os ângulos entre curvas sobre a mesma.
- Movimento homotético – expansão ou contração uniforme da superfície.
- Movimento conforme – movimento não rígido que preserva os ângulos entre curvas da superfície mas não os comprimentos das curvas.
- Movimento elástico – movimento não rígido cuja única restrição é algum grau de continuidade ou suavização. Este é o tipo de movimento de um objeto sólido mais difícil de analisar.
- Movimento fluído – movimento não rígido geral, não necessariamente contínuo. Pode envolver variações de topologia e deformações turbulentas.

A visão computacional em aplicações robóticas também necessita de considerar a não rigidez das formas, levando em consideração que partes articuladas e flexíveis são abundantes em ambientes industriais. A utilização da análise não rígida do movimento tem uma vasta área de abrangência como: área biomédica, tais como o estudo do movimento do coração e do pulmão, características da deformação do coração, movimento facial, movimento dos lábios

### 2.3 CAPTURA DA IMAGEM

O primeiro passo no processo é a aquisição da imagem, que se baseia em obter a imagem necessária através de um dispositivo de entrada e digitalizá-la. Os dispositivos de captura de imagem podem ser dos mais diversos, tais como: câmeras, placas de captura de vídeo, mídias digitais, scanners, etc.

Para as técnicas de captura de imagens, podemos considerar que as imagens utilizadas são geradas através da combinação de uma fonte de iluminação e da reflexão e absorção de energia por parte dos corpos presentes na cena. É sabido que não existem somente as fontes de luz visíveis ao olho humano, mas outras

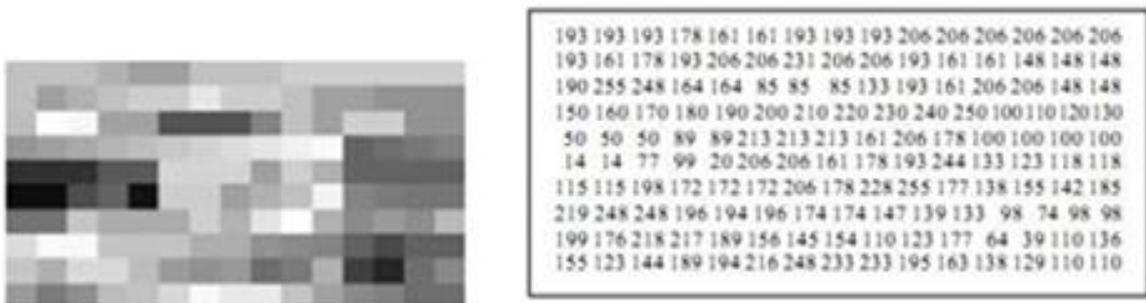
como por exemplo: de origem eletromagnética (radar, infravermelho, ou raio-x), ultrassons, etc.

Segundo González, uma imagem monocromática refere-se à função bidimensional de intensidade da luz  $f(x,y)$ , onde  $x$  e  $y$  denotam as coordenadas espaciais e o valor de  $f$  em qualquer ponto  $(x,y)$  é proporcional ao brilho (ou níveis de cinza) da imagem naquele ponto.

Uma imagem digital é uma imagem  $f(x,y)$  discretizada tanto nas coordenadas espaciais quanto no brilho. Uma representação apropriada para imagens em sistemas computacionais são matrizes de duas dimensões.

Como pode ser visto na Figura 7, as linhas e as colunas podem identificar a coordenadas  $y$  e  $x$  respectivamente, e o valor correspondente para cada par coordenadas representa o brilho naquele ponto. Cada elemento da matriz da imagem digital denomina-se pixel. Tipicamente os valores discretos assumidos pelos pontos numa imagem monocromática variam de 0 (preto) a 255(branco)

Figura 7 - Representação Imagem monocromática



Fonte: (R. Gonzalez,2000)

De acordo com Jain, uma imagem pode representar a luminância de um objeto em um cenário (como as fotos tiradas por uma câmera ordinária), as características de absorção de um tecido corpóreo (a imagem de um raio-X), reflexos de ondas eletromagnéticas (imagens de radares), medição de calor (imagens em infravermelho) ou do campo gravitacional em uma área (imagem geofísica).

## 2.4 PROCESSAMENTO DE IMAGENS

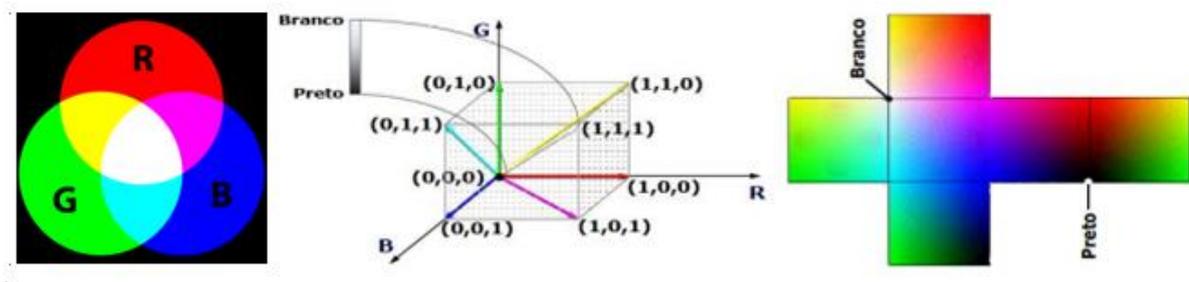
Em processamento de imagens, vários passos são traçados até se atingir os resultados desejados para posterior utilização, nesses passos estão envolvidos hardwares, softwares e fundamentos matemáticos.

O processo de aquisição da imagem introduz diversos ruídos e deformações na informação contida nas imagens digitais, porém uma grande redundância espacial existente, isto é, pixels vizinhos numa imagem apresentam os mesmos (ou quase os mesmos) parâmetros físicos. O processamento de imagens usa um grande conjunto de técnicas que exploram esta redundância para recuperar a informação contida na imagem.

Estas técnicas executam transformações na imagem, procurando extrair parâmetros intrínsecos tais como descontinuidades de superfícies, distância, orientação de superfícies, entre outros.

Caso a imagem seja colorida a mesma terá três dimensões onde cada dimensão da matriz representará uma cor, dentre as cores primárias RGB (vermelho, verde e azul), essa representação é vista na Figura 8.

Figura 8 - Representação RGB



Fonte: (DJEILY.T,2013)

Alguns aspectos de conteúdos nas imagens precisam ser preservados, para isso o processamento segue alguns procedimentos tais como:

- Eliminar Ruídos e Bordas: eliminar ruídos e extrair as bordas contidas numa imagem. Bordas são curvas no plano de imagem através das quais existe uma “significante” mudança no brilho

- Segmentação: é necessário segmentar o objeto em causa, do resto da imagem;
- Transformação: as várias áreas segmentadas podem, ou não, ser transformadas noutra tipo de representação por forma a diminuir a quantidade de informação
- Definição: definição de como o objeto em causa irá ser seguido pelos vários “quadros”, ou seja, ao longo da sequência de imagens. (Pinho, 2004)

#### 2.4.1 PRE-PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Antes de um método de visão computacional ser aplicado em uma imagem para extrair informação, é geralmente necessário processar a imagem para assegurar-se que ela satisfaz as condições do método. Exemplos incluem recapeamento (para assegurar o sistema de coordenadas), redução de ruídos (para assegurar que as informações são verdadeiras) e aumento de contraste (para assegurar que as informações relevantes serão detectadas), compressão de imagens dentre outras.

No que toca às técnicas de realce, estas têm o objetivo de fazer sobressair detalhes escondidos, ou salientar determinadas características de interesse na imagem (por exemplo aumentando o contraste). A restauração da imagem, normalmente incorpora modelos probabilísticos ou matemáticos, com vista a melhorar a aparência da imagem. O processamento de imagem atualmente é feito através da cor, uma vez que esta permite a extração de características da imagem, em vez da escala de cinza.

A compressão de imagens consiste na utilização de técnicas de redução de espaço de armazenamento e por conseguinte redução dos tempos de comunicação das mesmas.

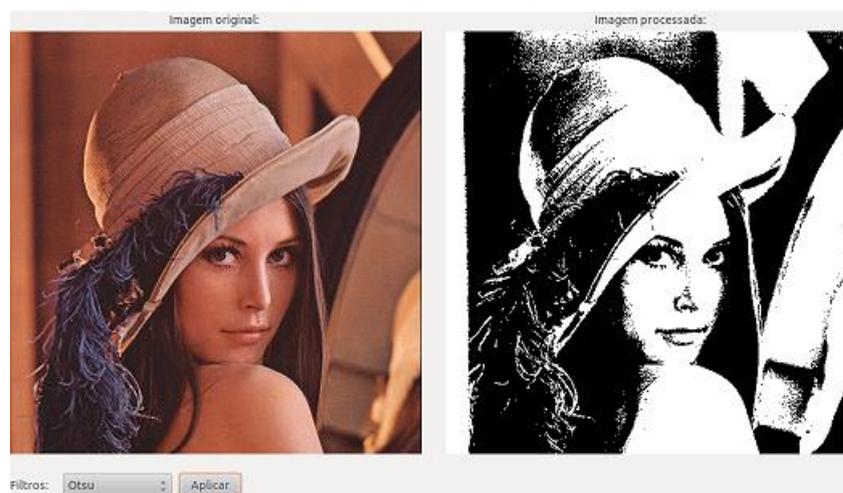
Uma aplicação de visão usualmente envolve computar certas propriedades de um objeto presente no cenário, e não a imagem como um todo. Para computar propriedades de um objeto, objetos individuais precisam primeiramente ser

identificados como objetos separados; então as propriedades de objetos podem ser computadas. Assim, um sistema de medição por imagem pode ser dividido nas seguintes etapas:

- Aquisição: necessário o uso de um bom sistema de iluminação e câmera com boa resolução;
- Pré-processamento: aprimorar a qualidade da imagem, reduzindo ruídos inerentes ao processo de aquisição;
- Segmentação de objetos: segmentação ou limiarização é utilizado para separar as áreas de interesse, que consistem nas peças a serem medidas
- Reconhecimento dos objetos de interesse;
- Medição

O processo de binarização da imagem consiste na separação dos objetos do fundo, mudando a cor destes para preta e o do fundo para branca, tem-se então uma imagem binária, que é muito usual nas diversas aplicações de Visão Computacional, como visto na Figura 9.

Figura 9 - Binarização/Greyscale



Fonte: (TRIGUEROS,2010)

Os números de níveis de quantificação usados mais comumente para representar intensidades de imagens são de 256 diferentes níveis de cinza, o que implica um maior esforço computacional e de armazenamento. Estas limitações encorajaram o uso de sistemas de visão binária (uma imagem binária contém apenas dois níveis de cinza). Necessidades menores de memória e tempos de execução mais rápidos não são as únicas razões para estudar sistemas de visão binária. Muitas técnicas desenvolvidas para estes sistemas também são aplicáveis para sistemas de visão que usam imagens de escala de cinza.

#### 2.4.2 SEGMENTAÇÃO

O processo de segmentação consiste em subdividir uma imagem em regiões homogêneas considerando alguns de seus atributos, como por exemplo, o nível de cinza dos pixels e a textura, visando caracterizar a representatividade dos objetos da cena (Bins et al., 1996). A segmentação pressupõe a geração de objetos internamente homogêneos e estatisticamente distintos de seus vizinhos, que serão gerados segundo critérios de descontinuidade ou de similaridade. Por exemplo, é papel da segmentação extrair o texto e o plano de fundo de uma imagem, outro exemplo de segmentação seria a retirada de um padrão da imagem, como alguma figura geométrica conhecida previamente.

A segmentação tem por objetivo determinar as regiões da imagem que correspondem aos objetos em causa. A segmentação pode ser realizada com recurso a vários tipos de dados. No entanto, as principais abordagens têm em vista o uso de dados temporais e espaciais

##### 2.4.2.1 TEMPORAL

Levando em consideração que o fundo da cena e o sensor ótico utilizado estarem estáticos, pode ser usado como forma de inferir movimento a comparação entre imagens, para a obter o movimento de um dado objeto. A diferença, pode ser calculada, através da subtração entre imagens ou pelo cálculo do fluxo ótico. (Moeslund, 2001)

- Subtração: A subtração entre várias imagens, gera um ótico, sendo o resultado o movimento. O método de subtração apresenta bons resultados em ambientes controlados, mas apresenta várias limitações em situações com determinado grau de variação. (Correia, 1995)
- Fluxo Ótico :Baseia-se no movimento coerente de pontos ou características entre imagens, por forma a obter a segmentação. (Correia, 2001). O fluxo ótico representa a distribuição 2D da velocidade aparente do movimento, sob os padrões de fundo da imagem. (Franco e Boyer, citados por Simas et al, 2007). Cada pixel, no plano da imagem, tem associado um único vetor de velocidade

#### 2.4.2.2 ESPACIAL

Segundo Pinho (2004) a segmentação pode ser realizada por binarização ou segundo abordagens estatísticas.

- Binarização: Consiste num processo simples baseado em hipóteses relativas à cena ou ao objeto. Caso a cor/intensidade do objeto possa ser distinguida do resto da cena, pode segmentar imagens por binarização segundo (Darrell, 1994). Outra abordagem faz a utilização de câmaras de infravermelhos e marcas especiais detectadas.
- Abordagens Estatísticas: Possuem vários métodos, e alguns autores adaptam abordagens já existentes para sua própria aplicação. Essa abordagem usa as características individuais de cada pixel, a cor ou o contorno, para separar o objeto do cenário. Algumas destas abordagens, consideram uma sequência de imagens de fundo e calculam a média e variância da intensidade/cor de cada pixel ao longo do tempo, onde cada pixel é comparado com as estatísticas da imagem de fundo e classificado como pertencendo ou não à mesma. (Wren, 1997), analisa o movimento humano, sendo o sujeito modelado por um conjunto de BLOBS - Binary Large Object, que significa Objeto Grande Binário com cores e estatísticas espaciais

individuais, e cada pixel da imagem é classificado como pertencente a um dos BLOBS de acordo com as suas propriedades espaciais e de cor, esse exemplo é mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Segmentação apresentada por Stauffer

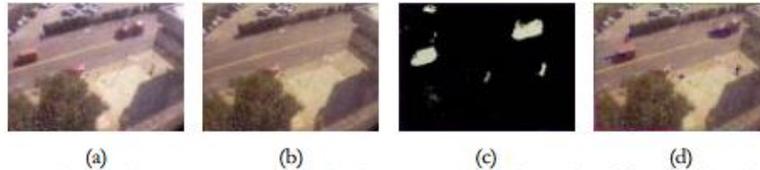


Fig. 1. Resultados da segmentação pela abordagem apresentada em [Stauffer, 1999] onde (a) é a imagem inicial; (b) é a imagem composta pelas médias das *Gaussianas* mais prováveis no modelo do fundo da cena; (c) segmentação da imagem dada realçando os *pixels* dos objectos a seguir; (d) a imagem inicial com a informação de seguimento sobreposta.

Fonte: (Miguel F. P.,2014)

- Contornos dinâmicos ou ativos (snake). “Um modelo deformável é ativo no sentido de ser capaz de se adaptar aos dados, conciliando as restrições geométricas da forma com as evidências locais da imagem.” (Pinho 2004, pp. 6) .O exemplo do uso de snakes pode ser encontrado em (Hanek, 2004) Figura 11, onde as imagens são segmentadas com uso no algoritmo de contração da densidade da curva (Contracting Curve Densi), sendo o algoritmo empregue para seguir movimentos de estruturas ao longo de várias imagens, usando uma função de aproximação entre os dados representados e a curva modelo, posteriormente recorre a modelos suavizados para determinar a densidade posterior, sendo a curva contraída no sentido de se tornar um contorno do objeto .

Figura 11 - Resultado da segmentação ao longo das interações



Fonte: (Miguel F. P.,2014)

### 2.4.3 REPRESENTAÇÃO

As imagens que foram segmentadas podem ser descritas de forma compacta por alguma representação conveniente. Existem dois tipos principais de representação:

- Baseadas nos objetos: que são as segmentação obtida por binarização, dependendo essencialmente dos dados obtidos pela segmentação da estrutura, e pode ser obtida considerando pontos, caixas, contornos ou áreas.
- Baseadas nas imagens: que são determinadas diretamente a partir das mesmas, representado diretamente a partir dos pixels que compõem a imagem (Christensen, 1997).

### 3. PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO

#### 3.1 TECNOLOGIA UTILIZADA

O trabalho teve início com a pesquisa bibliográfica visão computacional, onde foi proposto a função de captar a imagem do movimento de uma pessoa na área delimitada e enviar comando de parar o robô.

Alguns detalhes da tecnologia e dos equipamentos utilizados serão mostrados. Para execução deste projeto foi utilizado:

- Câmera Webcam: Aquisição de imagens
- Sistema operacional: Linux Ubuntu 14.04
- IDE CodeBlocks: Compilador de Linguagem C++
- Linguagem de Programação:C++
- OpenCV: biblioteca de visão computacional

##### 3.1.1 WEBCAM

Webcam ou câmara web é uma câmera de vídeo de baixo custo que capta imagens e as transfere para um computador. Pode ser usada para videoconferência, monitoramento de ambientes, produção de vídeo e imagens para edição, entre outras aplicações. Será utilizada nesse projeto como hardware de aquisição de imagens.

##### 3.1.2 IDE CODEBLOCKS

A sigla IDE, vem do inglês *Integrated Development Environment* ou Ambiente Integrado de Desenvolvimento. É um programa de computador que reúne

características e ferramentas de apoio ao desenvolvimento de software com o objetivo de agilizar este processo. Geralmente os IDEs facilitam a técnica de RAD (Rapid Application Development), Desenvolvimento Rápido de Aplicativos, que visa a maior produtividade dos desenvolvedores. Codeblocks é o software que será utilizado nessa dissertação, é um IDE de código aberto para a linguagem de programação C++.

### 3.1.2 LINUX UBUNTO

O Ubuntu é um sistema operacional de código aberto, construído a partir do núcleo Linux, baseado no Debian. É patrocinado pela Canonical Ltda. O Ubuntu diferencia-se do Debian por ter versões lançadas semestralmente, por disponibilizar suporte técnico nos 9 meses seguintes ao lançamento de cada.

A proposta do Ubuntu é oferecer um sistema que qualquer pessoa possa utilizar sem dificuldades, independentemente de nacionalidade, nível de conhecimento ou limitações físicas. O sistema deve ser constituído principalmente por software livre. Deve também ser isento de qualquer taxa.

### 3.1.3 C++

O C++ é uma linguagem de programação de nível médio, baseada na linguagem C. O desenvolvimento da linguagem começou na década de 80, por Bjarne Stroustrup. O objetivo do desenvolvimento desta linguagem era melhorar uma versão do núcleo Unix.

Para desenvolver a linguagem, foram acrescentados elementos de outras linguagens de vários níveis, na tentativa de criar uma linguagem com elementos novos, sem trazer problemas para a programação.

Após a padronização ISO realizada em 1998 e a posterior revisão realizada em 2003, uma nova versão da especificação da linguagem foi lançada em dezembro de 2014, conhecida informalmente como C++14

### 3.1.3 OPENCV

OpenCV (*Open Source Computer Vision*) é uma biblioteca de programação, decódigo aberto, desenvolvida inicialmente pela Intel Corporation. O OpenCV implementa uma variedade de ferramentas de interpretação de imagens, indo desde operações simples como um filtro de ruído, até operações complexas, tais como a análise de movimentos, reconhecimento de padrões e reconstrução em 3D. O pacote OpenCV está disponível gratuitamente na Internet, bem como o manual de referência.

A biblioteca OpenCV foi desenvolvida pela Intel e possui mais de 500 funções e foi idealizada com o objetivo de tornar a visão computacional acessível a usuários e programadores em áreas tais como a interação humano-computador em tempo real e a robótica.

A biblioteca está disponível com o código fonte e os executáveis (binários) otimizados para os processadores Intel. Um programa OpenCV, ao ser executado, invoca automaticamente uma DLL (Dynamic Linked Library) que detecta o tipo de processador e carrega, por sua vez, a DLL otimizada para este.

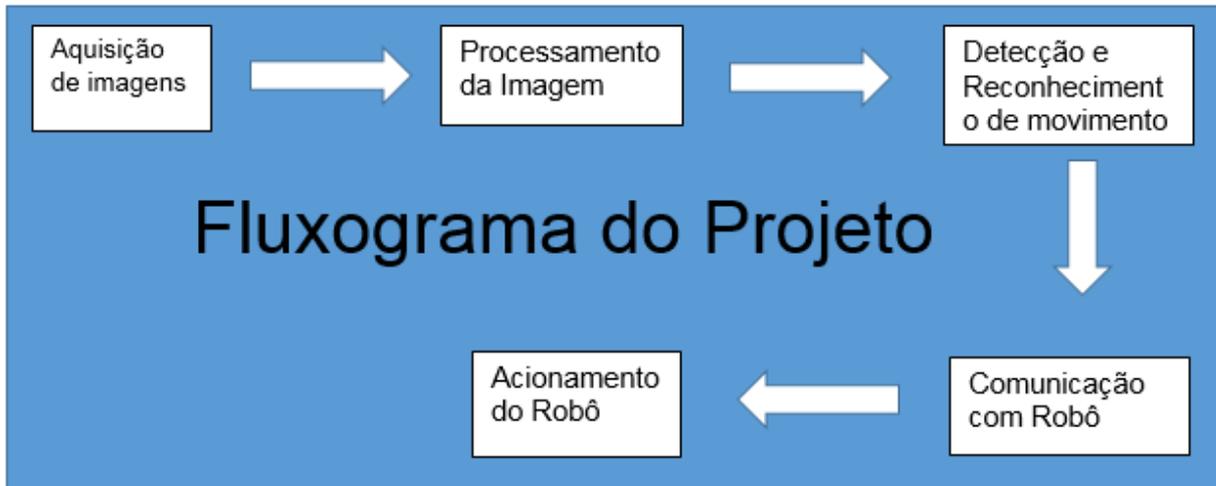
Juntamente com o pacote OpenCV é oferecida a biblioteca IPL (Image Processing Library), da qual a OpenCV depende parcialmente, além de documentação e um conjunto de códigos exemplos.

A biblioteca está dividida em cinco grupos de funções: Processamento de imagens, Análise estrutural, Análise de movimento e rastreamento de objetos, Reconhecimento de padrões e Calibração de câmera e reconstrução 3D.

## 3.2 IMPLEMENTAÇÃO

Uma previa bibliográfica, permitiu ter uma noção de visão computacional e a forma como a implementação do projeto seria construída a partir dela. Com essa percepção do escopo do projeto foi possível desenvolver fazer um fluxograma descrevendo as 5 etapas do projeto mostrado na Figura 12.

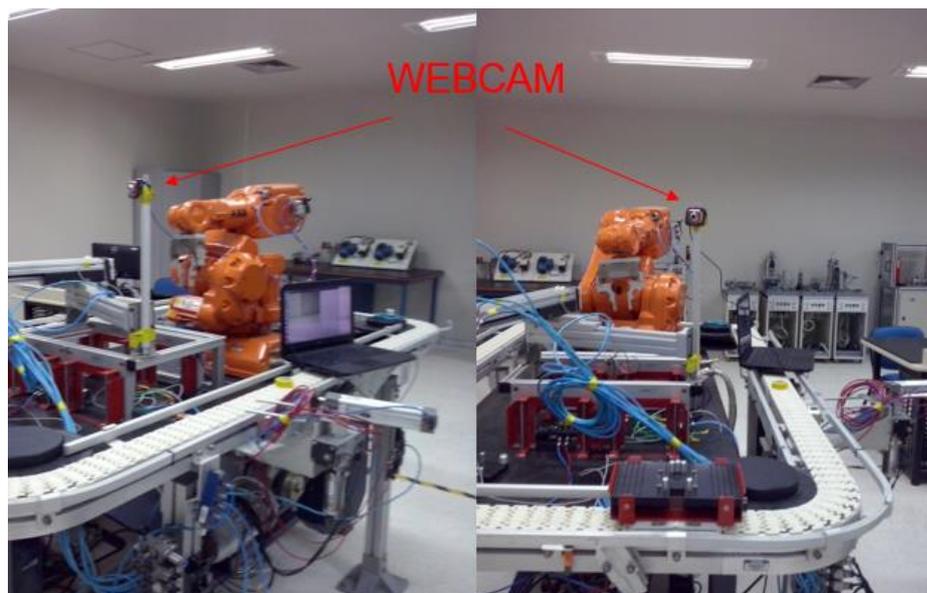
Figura 12 - Fluxograma do Projeto



Fonte: Autor

A primeira fase da implementação é representada na Figura 13, onde ocorre a aquisição de Imagens do ambiente através da câmera Webcam.

Figura 13 - Webcam – Aquisição de Imagem



Fonte: Autor

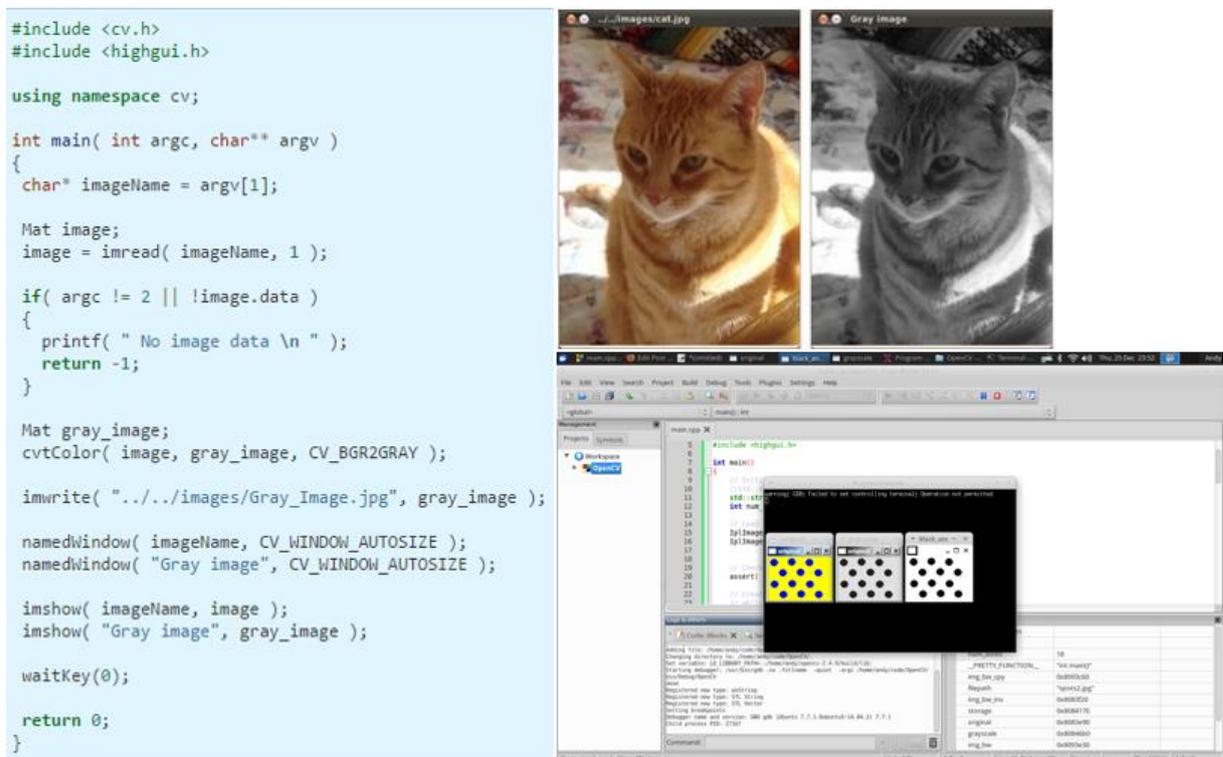
A segunda fase é o Processamento de Imagem que é mostrado na Figura 14, onde as informações recebidas da câmera serão tratadas via software por um

computador. Como mencionado antes, utilizou-se o OpenCV, que são bibliotecas de código aberto que fornecem suporte ao desenvolvimento de programas nas áreas processamento de imagem, reconhecimento de dentre outras funções.

O programa foi feito em linguagem C++ através do compilador Codeblocks, onde o tratamento de imagens segue alguns passos e o programa realiza as seguintes funções:

1. Pixelização: Transformação da imagem em um conjunto de *pixels*;
2. Grayscale: mudança da escala RGB para escala de cinza;

Figura 14 - Processamento de Imagem



Fonte: opencv.org

A terceira etapa do projeto ainda se faz necessário a utilização do OpenCV como mostrado na Figura 15, onde ocorre:

1. A localização do corpo do usuário, que é feita pelo reconhecimento do rosto.

2. A segmentação
3. A detecção e reconhecimento do movimento.

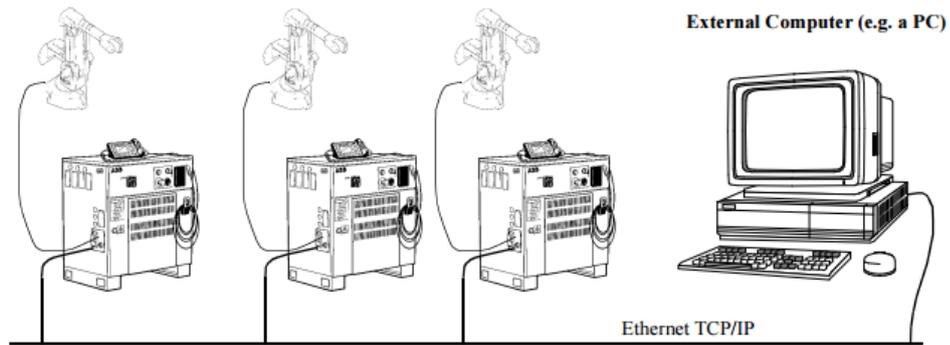
Figura 15 - Detecção do Rosto



Fonte: Autor

A quarta etapa de implementação é mostrada na Figura 16, a comunicação do computador e o robô que é feito através do protocolo TCP/IP. A partir da detecção do rosto o software envia um bit para o robô informando que alguém está na área.

Figura 16 - Exemplo de Conexão TCP/IP



Fonte: (ABB ETHERNET SERVICES USER'S GUIDE 3HAC 0954-1)

A quinta etapa do projeto se dá quando o robô recebe a informação do algoritmo informando que foi detectado um rosto. A Figura 17 mostra uma parte do algoritmo onde ocorre a comunicação com o robô através de TCP/PI.

Figura 17 - Código de Comunicação com Robô ABB

```
void ofApp::sendMessage(){
    weConnected =
    tcpClient.setup("127.0.0.1", 11999);

    tcpClient.setVerbose(true);

    if(weConnected){
        tcpClient.send(msgTx);
        tcpClient.close();
    }
}
```

Fonte: Autor

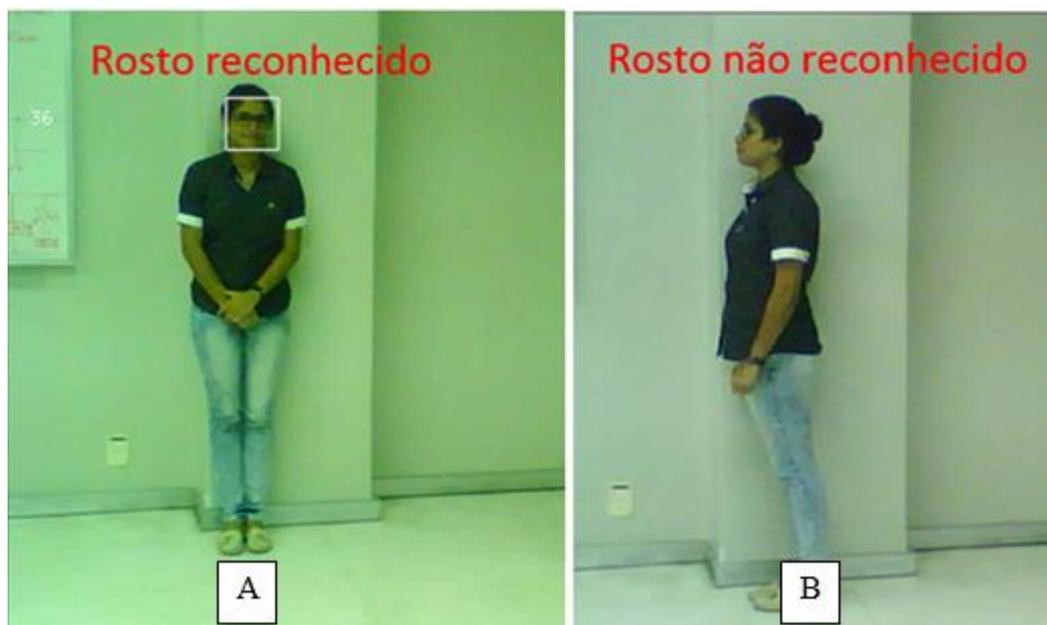
#### 4. RESULTADOS

Nesta seção, será abordado os resultados dos testes obtidos a partir da implementação do projeto. Com base na metodologia utilizada e no objetivo do projeto, observou-se que fatores como:

- Iluminação
- Posição do rosto
- Número de rostos dentro do cenário

Foi observado que a variância da iluminação afeta a forma com que o algoritmo detecta o rosto, fazendo com que em alguns casos o mesmo não seja detectado. Outro ponto que foi observado foi a posição do rosto, observou-se que se a pessoa se manter paralela a câmera como na Figura 18 A, o rosto é detectado e enquadrado, entretanto se a posição do rosto da pessoa for perpendicular a câmera como na Figura 18 B, não é reconhecido.

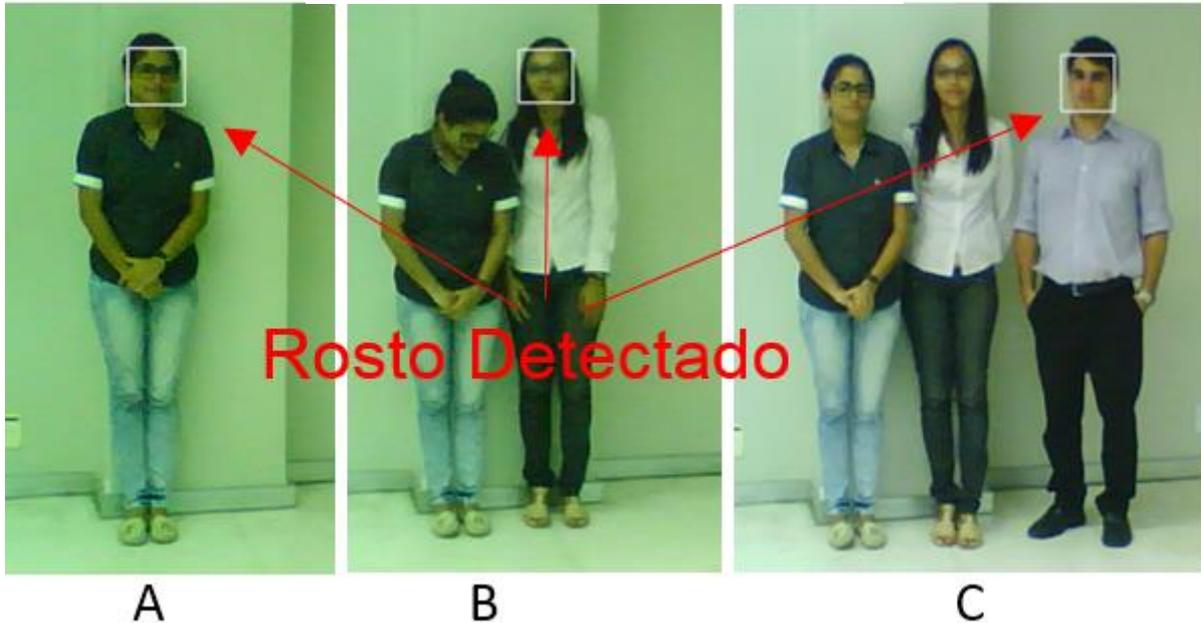
Figura 18 - Teste de Reconhecimento 1



Fonte: Autor

Após alguns testes foi verificado que o algoritmo somente detecta um rosto dentro do cenário. Na Figura 19 pode ser observado três cenários como números diferentes de rostos, em cada cenário somente um rosto é detectado.

Figura 19 - Teste de Reconhecimento 2



Fonte: Autor

- A: somente um rosto no cenário
- B: dois rostos no cenário, somente o segundo rosto é enquadrado;
- C: três rostos no cenário, somente o terceiro rosto é enquadrado;

De uma forma geral o algoritmo funciona tendo suas limitações. Dentro de um ambiente controlado a luminosidade não é um fator que atrapalhe a execução do projeto, entretanto a posição do rosto é um fator essencial para que o algoritmo possa funcionar. A quantidade de rostos no cenário não alterou a forma como o algoritmo funciona apesar de reconhecer somente um rosto, o algoritmo executa seu papel que é reconhecer o rosto e parar o robô.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse projeto de conclusão em Automação Controle e Robótica propôs um sistema de controle Start/Stop para robôs industriais, por meio da visão computacional que proporciona um reconhecimento do rosto a partir de uma câmera Webcam. A abordagem do tema de visão computacional possibilitou uma breve imersão no assunto e uma futura abrangência e aperfeiçoamento do projeto apresentado.

A arquitetura proposta para solução do problema foi baseada nos estudos realizados sobre reconhecimento de movimento aplicados a robótica. Foi essencial a utilização da biblioteca OpenCV, para tratamento de imagem e reconhecimento de movimento.

Os resultados obtidos com os testes de luminosidade não foram tão influentes no resultados quanto os testes realizados na posição do rosto no ambiente, de modo que o sistema demonstra que a face é reconhecida pelo algoritmo nas situações onde o rosto esta paralelo a câmera ou seja, de forma frontal à lente da câmera. Também, observou-se que o algoritmo não detecta mais de um rosto por cenário, entretanto isso não influencia na execução do projeto.

### 5.1 TRABALHOS FUTUROS

Levando em consideração que o projeto apresentado é uma alternativa de baixo custo para segurança em ambientes industriais que utilizem robôs alguns pontos já mostrados precisam ser melhor implementados tais como:

- Aprimorar o algoritmo de forma que o rostos sejam detectados tanto paralelos quanto perpendiculares a câmera;
- Aprimorar o algoritmo de forma que sejam detectados todos os restos presentes no cenário;

## REFERENCIAS

PINHO, R.; TAVARES, J.; CORREIA, M. (2004). INTRODUÇÃO À ANÁLISE DE MOVIMENTO USANDO VISÃO COMPUTACIONAL, FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO; DISPONÍVEL EM: [HTTP://REPOSITORIO-ABERTO.UP.PT/BITSTREAM/10216/171/2/10131.PDF](http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/171/2/10131.pdf);

BRADSKI, G.; KAEHLER, A. LEARNING OPENCV. [S.L.]: O'REILLY MEDIA, 2008. ISBN 9780596516130

FIGUEREDO, M. B. RECONHECIMENTO DE FACES APLICADO AO PROBLEMA DE PESSOAS DESAPARECIDAS - ESTUDO DE CASO DO EIGENFACE. 107 P. DISSERTAÇÃO — FACULDADE SENAI CIMATEC, 2011.

IMATIC SISTEMAS INDUSTRIAIS DE VISÃO. DISPONÍVEL EM <[WWW.IMATIC.COM.BR/SVISA0.HTM](http://WWW.IMATIC.COM.BR/SVISA0.HTM)> ACESSO EM: 24 MAR. 2013.

FOREST, R, L. SISTEMA DE VISÃO ROBÓTICA PARA RECONHECIMENTO DE CONTORNOS DE COMPONENTES NA APLICAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS. 2006. DISSERTAÇÃO (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL) – PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, PORTO ALEGRE.

STEMMER, M, R; ORTH, A; ROLOFF, M, L; DESCHAMPS, F; PAVIM, A, X. APOSTILA DE SISTEMA DE VISÃO. 2005. SISTEMAS INDUSTRIAIS INTELIGENTES, FLORIANÓPOLIS.

GONZALEZ, R, C; WOODS, R, E. PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS. SÃO PAULO: EDGARD BLUCHER LTDA, 2000.

GRASSI, M, V. DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE SISTEMA DE VISÃO PARA ROBÔ INDUSTRIAL DE MANIPULAÇÃO. 2005. DISSERTAÇÃO (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL) – PROGRAMA DE PÓS

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, PORTO ALEGRE. [13] RODRIGUES, D, L. PROCEDIMENTO AUTOMÁTICO PARA CALIBRAÇÃO DE SISTEMAS DE VISÃO ROBÓTICA PARA OPERAÇÕES PICK-AND-PLACE. 1997.

DISSERTAÇÃO (DIVISÃO DE PÓS GRADUAÇÃO DO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA) – ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA, SÃO JOSÉ DOS CAMPOS.

G. DONATO, M.S. BARTLETT, J.C. HAGER, P. EKMAN, AND T.J. SEJNOWSKI, "CLASSIFYING FACIAL ACTIONS," PROC. IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, VOL. 21 , NO. 10, OUTUBRO 1999

IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES EM IMAGENS DE SISTEMAS DE SEGURANÇA UTILIZANDO WAVELETS

ANTOS, V. M. F. ROBÓTICA INDUSTRIAL: APONTAMENTOS TEÓRICOS, EXERCÍCIOS PARA AULAS PRÁTICAS E PROBLEMAS DE EXAMES RESOLVIDOS, UNIVERSIDADE DE AVEIRO, 2003-2004. DISPONÍVEL EM: [HTTP://WWW.MEC.UA.PT/](http://www.mec.ua.pt/)

ROMANO, VICTOR FERREIRA. ROBÓTICA INDUSTRIAL – APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA DE MANUFATURA E DE PROCESSOS. SÃO PAULO, 2002.

DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE MOVIMENTOS UTILIZANDO VISÃO COMPUTACIONAL PARA MONITORAMENTO SEGURO DE ÁREAS SURVEILHADAS RICARDO ALEXSANDRO DE MEDEIROS VALENTIM DOUTOR EM ENGENHARIA ELÉTRICA UFRN - NATAL – RN 2009

TUTORIAL: INTRODUÇÃO À VISÃO COMPUTACIONAL USANDO OPENCV MAURÍCIO MARENGONI<sup>1</sup> DENISE STRINGHINI<sup>2</sup> 2009

T. T. SOONG, FUNDAMENTALS OF PROBABILITY AND STATISTICS FOR ENGINEERS. NEW YORK: JOHN WILEY AND SONS LTD., PRIMEIRA ED., 2004.

M. R. SPIEGEL, ESTATÍSTICA. SÃO PAULO: MAKRON BOOKS, TERCEIRA ED., 1993.

R. GONZALEZ AND R. WOODS, PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS. SÃO PAULO: EDITORA EDGARD BLUÇHER, PRIMEIRA ED., 2000.

A. JAIN, FUNDAMENTALS OF DIGITAL IMAGE PROCESSING. NEW JERSEY: PRENTICE-HALL INC., PRIMEIRA ED., 1989.

L. G. BROWN, "A SURVEY OF IMAGE REGISTRATION TECHNIQUES," ACM COMPUTING SURVEYS, DEZEMBRO 1992.

W. K. PRATT, FUNDAMENTALS OF DIGITAL IMAGE PROCESSING. CALIFORNIA: JOHN WILEY & SONS, INC., TERCEIRA ED., 2001.

A. J. AHUMADA, "COMPUTATIONAL IMAGE QUALITY METRICS: A REVIEW,"

A. B. WASTON, DIGITAL IMAGES AND HUMAN VISION. MIT PRESS,

E. PELI, VISION MODELS FOR TARGET DETECTION AND RECOGNITION. WORLD SCIENTIFIC PUBLISHING, 1995.

J. MARTIN AND J. CROWLEY, "COMPARISON OF CORRELATION TECHNIQUES," CONFERENCE ON INTELLIGENT AUTONOMOUS SYSTEMS, MARÇO 1995.

H. ZHOU, M. CHEN, AND M. WEBSTER, "COMPARATIVE EVALUATION OF VISUALIZATION AND EXPERIMENTAL RESULTS USING IMAGE COMPARISON METRICS," IEEE VSUALIZATION, OUTUBRO 2002.

K. R. CASTLEMAN, DIGITAL IMAGE PROCESSING. PRENTICE HALL, 1996.

J. L. MANNOS AND D. J. SAKRISON, "THE EFFECTS OF A VISUAL FIDELITY CRITERION ON THE ENCODING OF IMAGES," IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY, 1974.

S. DALY, "THE VISIBLE DIFFERENCE PREDICTOR: AN ALGORITHM FOR THE ASSESSMENT OF IMAGE FIDELITY," DIGITAL IMAGES AND HUMAN VISION, 1993.

A. J. AHUMADA, "SIMPLIFIED VISION MODELS FOR IMAGE QUALITY ASSESSEMENT," SID INTERNATIONAL SYMPOSIUM DIGEST OF TECHNICAL PAPERS, 1996.

H. M. DEITEL AND P. J. DEITEL, JAVA COMO PROGRAMAR. BOOKMAN, 2003.

E. A. OLSON, "JAVA MEDIA FRAMEWORK BASICS," IBM DEVELOPERSWORKS, MAIO 2002. WHITE PAPER.

JAVA WORLD, PROGRAM MULTIMEDIA WITH JMF, DISPONÍVEL EM: [HTTP://WWW.JAVAWORLD.COM/JAVAWORLD/JW-04-2001/JW-0406-](http://www.javaworld.com/javaworld/JW-04-2001/JW-0406-)

H. SCHULZRINNE, G. FOKUS, AND S. CASNER, "RTP: A TRANSPORT PROTOCOL FOR REAL-TIME APPLICATIONS," IN RFC1889, INTERNET ENGINEERING TASK FORCE, JANEIRO 1996.

A. PAJARES, J. C. GUERRI, AND AT. AL., "JMFMOD: A NEW SYSTEM FOR MEDIA ON DEMAND PRESENTATION," PROCEEDINGS OF THE 28TH EUROMICROCONFERENCE, 2002.

J. R. WILCOX, VIDEOCONFERENCING AND INTERACTIVE MEDIA: THE WHOLE PICTURE. TELECOM BOOKS, 2000.

F. MCCOWN, "DEVELOPMENT OF A REMOTE OBJECT WEBCAM CONTROLLER (ROWC) WITH CORBA AND JMF," MASTER'S THESIS, DONAGHEY COLLEGE OF INFORMATION SCIENCE AND SYSTEMS ENGINEERING, ARKANSAS, JULHO 2002.

SUN MICROSYSTEMS, INTERFACE QUALITYCONTROL, DISPONÍVEL EM: [HTTP:// JAVA.SUN.COM/ PRODUCTS/ JAVA-MEDIA/ JMF/2.1.1/ APIDOCs/JAVAX/ MEDIA/CONTROL/ QUALITYCONTROL.HTML](http://java.sun.com/products/java-media/jmf/2.1.1/apidocs/javax/media/control/qualitycontrol.html).

SUN MICROSYSTEMS, JDESKTOP INTEGRATION COMPONENTS (JDIC), DISPONÍVEL EM: [HTTPS://JDIC.DEV.JAVA.NET/](https://jdic.dev.java.net/).

VISÃO COMPUTACIONAL: RECONHECIMENTO DA MÃO HUMANA E SEUS MOVIMENTOS TIAGO MANUEL SARAIVA MARQUES BARCARENA, NOVEMBRO DE 2014

GAVRILA, D.; DAVIS, L. (1996); 3D MODEL-BASED TRACKING OF HUMANS IN ACTION: A MULTI-VIEW APPROACH, IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, SAN FRANCISCO, USA; MOESLUND, T.; GRANUM, E. (2001);

A SURVEY OF COMPUTER VISION-BASED HUMAN MOTION CAPTURE, COMPUTER VISION AND IMAGE UNDERSTANDING, PP. 81 E 231 A 268; SPELKE, E.; VISHTON, P.; HOFSTEN, C. (1994).

OBJECT PERCEPTION, OBJECT-DIRECTED ACTION, AND PHYSICAL KNOWLEDGE IN INFANCY, PP. 165 A 179; TAVARES, J. (2000);

TESE DE DOUTORAMENTO, ANÁLISE DE MOVIMENTO DE CORPOS DEFORMÁVEIS USANDO VISÃO COMPUTACIONAL, FACULDADE DE ENGENHARIA DO PORTO; WANG, X; HE L.; WEE, W. (2004);

DEFORMABLE CONTOUR METHOD: A CONSTRAINED OPTIMIZATION APPROACH, INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER VISION, VOLUME 59, PP. 87 A 108; GONZALVEZ, J.; KIM, I.; FUA, P.; ET AL; (2003);

ROBUST TRACKING AND SEGMENTATION OF HUMAN MOTION IN AN IMAGE SEQUENCE, ICASSP 2003 CONFERENCE OF ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING, HONG KONG; REYNOLDS, D.; RILEY, J. (2002);

REMOTE SENSING, TELEMETRIC AND COMPUTERBASED TECHNOLOGIES FOR INVESTIGATION INSECT MOVEMENT: A SURVEY OF EXISTING AND POTENTIAL TECHNIQUES; COMPUTER AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE; PP. 35 E 271 A 307;

VISÃO COMPUTACIONAL APLICADA EM UM BRAÇO ROBÓTICO ANTROPOMÓRFICO DIDÁTICO DJEILY TAMARA BECKER CASCAVEL 2013

MENESES, P, M; ALMEIDA, T. INTRODUÇÃO AO PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO. BRASÍLIA: UNB, 2012. [27] BELINI, D, R, T. ROBÔ DIDÁTICO ANTROPOMÓRFICO CONTROLADO VIA MATLAB® 2012.

DISSERTAÇÃO. (FACULDADE ASSIS GURGACZ) - ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO, CASCAVEL. [28] SILVA, A. C. ALGORITMOS PARA DIAGNÓSTICO ASSISTIDO DE NÓDULOS PULMONARES SOLITÁRIOS EM IMAGENS DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA. PUC – RIO, 2004. 76

MANSSOUR, H, I; COHEN, M. INTRODUÇÃO A COMPUTAÇÃO GRÁFICA. ARTIGO. 2006. PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ - FACULDADE DE INFORMÁTICA, PORTO ALEGRE.

DREXEL UNIVERSITY ELECTRICAL & COMPUTER ENGINEERING. DISPONÍVEL EM<[HTTP://WWW.ECE.DREXEL.EDU/COURSES/ECE](http://www.ece.drexel.edu/courses/ece)

BRITES, G, F; SANTOS, A, P, V. MOTOR DE PASSO. ARTIGO. 2008. (UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE) - CENTRO TECNOLÓGICO, NITERÓI.

CARRARA, V. APOSTILA DE ROBÓTICA. PRECISÃO E REPETIBILIDADE. 2006. UNIVERSIDADE BRAZ CUBAS, MOGI DAS CRUZES.

ESPECIFICAÇÕES DE SEGURANÇA PARA CÉLULAS ROBOTIZADAS, PORTO ALEGRE, NOVEMBRO DE 2011

ABB. "INDUSTRIAL ROBOT IRB 1400". CATÁLOGO PR10033EN\_R1, 2000 A.

ABB. "OPERAÇÃO DO ROBÔ". APOSTILA DE OPERAÇÃO DO ROBÔ S4, 2000 B.

ABB. "PRODUCT MANUAL IRB 1400" M94A/REV. 2, MANUAL, 000 C.

ABNT. "SEGURANÇA DE MÁQUINAS - PARTES DE SISTEMAS DE COMANDO RELACIONADAS À SEGURANÇA - PRINCÍPIOS GERAIS PARA PROJETO". NBR 14153, 1998.

BRAGA N. C. "REED-SWITCHES". MECATRÔNICA FÁCIL, 2007.

CRISPIM, S. F; MEDINA, R. M. "FATORES DETERMINANTES NO PROCESSO DE DECISÃO DE INVESTIMENTOS EM ROBOTIZAÇÃO NA INDÚSTRIA BRASILEIRA DE AUTOPEÇAS". GEST. PROD. V. 17, N. 3, 2010.

INTERNATIONAL STANDARD ISO 10218. "ROBOT INDUSTRIALI MANIPOLAZIONE". ISO 10218, 1992.

INTERNATIONAL STANDARD ISO 10218-1. "ROBOTS FOR INDUSTRIAL ENVIRONMENTS -SAFETY REQUIREMENTS". ISO 10218-1, 2006.

NR-12. "SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS", PORTARIA SIT Nº 197,2010.

PILZ. "TECNOLOGIA DE SENSORES DE SEGURANÇA PSEN", CATÁLOGO SISTEMA DE SENSORES PSEN, 2010.

ROCKWELL AUTOMATION. "MEDIDAS DE PROTEÇÃO E EQUIPAMENTO COMPLEMENTAR".

[HTTP://ABWEB.ROCKWELLAUTOMATION.COM/PT/EPUB/CATALOGS/3377539/5866177/3378076/7131359/TAB](http://abweb.rockwellautomation.com/pt/epub/catalogs/3377539/5866177/3378076/7131359/tab)

MONITORAMENTO AUTOMÁTICO DE TRÂNSITO ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE VISÃO COMPUTACIONAL COM O OPENCV MARLON DE SOUZA REIS BELO HORIZONTE 2014

SMEROBOT FINAL PRESENTATION2 STUTTGART, MAY 7TH , 2009

THE EUROPEAN ROBOT INITIATIVE FOR STRENGTHENING THE COMPETITIVENESS OF SMES IN MANUFACTURING THE SAFE & PRODUCTIVE ROBOT WORKING WITHOUT FENCES FINAL PRESENTATION, STUTTGART, MAY 5TH , 2009

SMEROBOT FINAL PRESENTATION2 STUTTGART, MAY 7TH , 2009

ESPECIFICAÇÕES DE SEGURANÇAMPAPRA CELULAS ROBOTIZADAS DANIEL AZEVEDO CRESPO PORTO ALEGRE NOVEMBRO 2011

## Apêndices

## APÊNDICE A – CÓDIGOS IMPLEMENTADOS

```

#include "ofApp.h"
//-----
void ofApp::setup(){
    camWidth = CAM_WIDTH;
    camHeight = CAM_HEIGHT;
    vidGrabber.setVerbose(true);
    vidGrabber.setDeviceID(0);
    vidGrabber.initGrabber(camWidth,camHeight);
    vidGrabber.setDesiredFrameRate(60);
    finder.setup("haarcascade_frontalface_alt.xml");
    ofSetVerticalSync(true);
    msgTx = "";
}
//-----
void ofApp::update(){
    vidGrabber.update();
    if (vidGrabber.isFrameNew()){
        unsigned char * pixels = vidGrabber.getPixels();
        img.setFromPixels(pixels, camWidth, camHeight, OF_IMAGE_COLOR, true);
        test_image.setFromPixels(pixels, camWidth, camHeight,
OF_IMAGE_COLOR);
        test_image.resize(camWidth, camHeight);
        test_image.update();
        finder.findHaarObjects(test_image);
    }
}
//-----
void ofApp::draw(){
    test_image.draw(0, 0);
    ofNoFill();
}

```

```
for(unsigned int i = 0; i < finder.blobs.size(); i++) {
    if(finder.blobs.size()>0){
        ofRectangle cur = finder.blobs[0].boundingRect;
        ofRect(cur.x, cur.y, cur.width, cur.height);
        ofDrawBitmapString(""+ofToString(cur.width), 15, 80);
        if(cur.width>52){
            msgTx = "1";
        }else{
            msgTx = "0";
        }
        sendMessage();
    }else{
        msgTx = "0";
        sendMessage();
    }
}

void ofApp::sendMessage(){
    weConnected = tcpClient.setup("127.0.0.1", 11999);
    tcpClient.setVerbose(true);
    if(weConnected){
        tcpClient.send(msgTx);
        tcpClient.close();
    }
}
```