

**UNIVERSIDADE PAULISTA**

**DANILO DE OLIVEIRA DOROTHEU**

**DIEGO DA SILVA SANTANA**

**MARCIO FERNANDES CRUZ**

**THIAGO GUY MOZOL VICENTE**

**UMA APLICAÇÃO PARA INTERPRETAR SINAIS DO ALFABETO  
DIGITAL DE LIBRAS**

**SÃO PAULO**

**2015**

**DANILO DE OLIVEIRA DOROTHEU**

**DIEGO DA SILVA SANTANA**

**MARCIO FERNANDES CRUZ**

**THIAGO GUY MOZOL VICENTE**

**UMA APLICAÇÃO PARA INTERPRETAR SINAIS DO ALFABETO  
DIGITAL DE LIBRAS**

Trabalho de conclusão de curso para  
obtenção do título de graduação em Ciência  
da Computação apresentado à Universidade  
Paulista – UNIP.

Orientador: Prof. Me. Gley Fabiano C. Xavier

**SÃO PAULO**

**2015**

CIP – Catalogação na Publicação

UMA APLICAÇÃO PARA INTERPRETAR SINAIS DO ALFABETO  
DIGITAL DE LIBRAS / Danilo de Oliveira Dorotheu...[et al]. -2015,  
51 f. : il. color

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) apresentado ao instituto  
de Ciência Exatas e Tecnologia da Universidade Paulista, São Paulo,  
2015.

Área de Concentração: Reconhecimento de Padrões.  
Orientador: Prof. Me. Gley Fabiano Cardoso Xavier.

1. Reconhecimento de Padrões. 2. Visão Computacional. 3.  
Processamento Digital de Imagens. I. Dorotheu, Danilo de Oliveira. II.  
Xavier, Gley Fabiano Cardoso (orientador).

**DANILO DE OLIVEIRA DOROTHEU**

**DIEGO DA SILVA SANTANA**

**MARCIO FERNANDES CRUZ**

**THIAGO GUY MOZOL VICENTE**

**UMA APLICAÇÃO PARA INTERPRETAR SINAIS DO ALFABETO  
DIGITAL DE LIBRAS**

Trabalho de conclusão de curso para  
obtenção do título de graduação em Ciência  
da Computação apresentado à Universidade  
Paulista – UNIP.

Aprovado em:

**BANCA EXAMINADORA**

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Prof. Nome do professor  
Universidade Paulista - UNIP

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Prof. Nome do professor  
Universidade Paulista - UNIP

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Prof. Nome do professor  
Universidade Paulista - UNIP

## **AGRADECIMENTOS**

Danilo:

Agradeço a Deus pela oportunidade e por sempre estar comigo, dando-me força e saúde para superar as dificuldades. Aos meus pais, que me proporcionaram o melhor possível, apoiando cada escolha minha, mostrando que “O único bem de uma pessoa é seu conhecimento adquirido através do estudo”. Aos meus mestres que me conduziram pelos caminhos da pesquisa com paciência e dedicação. E por fim, às pessoas que contribuíram em minha vida, incentivando, auxiliando e acreditando no meu potencial.

Diego:

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades. Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Ao nosso Professor orientador Gley Fabiano Cardoso Xavier, que com paciência e sabedoria nos ajudou, nos guiou e mostrou os melhores caminhos. A todos que fizeram parte da trilha acadêmica e também àqueles que mesmo de fora contribuíram de alguma forma.

Marcio:

Aos meus colegas Danilo, Diego e Thiago por se dedicar a realização deste trabalho. A minha família que sempre acreditou em mim. Dedico também este trabalho ao meu filho Michel. Ele um dia vai ler este texto e espero ter orgulho de seu pai. Por último e mais importante agradeço a Deus e dedico a Ele toda a glória de minhas realizações.

Thiago:

Agradeço primeiramente a Deus por dar-me forças para segui em frente, aos meus familiares que acreditam no meu sucesso, aos meus mestres pelas orientações dadas para elaborar este trabalho, pois ajudou a desenvolver minhas ideias, e aos meus amigos que sempre estiveram me apoiando.

A primeira regra de qualquer tecnologia utilizada nos negócios é que a automação aplicada a uma operação eficiente aumentará a eficiência. A segunda é que a automação aplicada a uma operação ineficiente aumentará a ineficiência.

(Bill Gates)

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta um estudo de conceitos e técnicas de processamento de imagens que tem como objetivo o reconhecimento de padrões. Através de técnicas de Visão Computacional, tem o desafio de criar um dispositivo artificial que desempenhe a função da visão humana na problemática de reconhecimento de sinais de um alfabeto digital de Libras. Nesta questão, é delimitado o problema, que é especificadamente reconhecer gestos de um alfabeto digital desta língua de sinais. No final, é discutido o estudo e sugerido uma proposta para trabalhos futuros, que, no caso, damos como exemplo o reconhecimento da linguagem Libras em si e, não somente seu alfabeto digital.

Palavras-chave: Visão Computacional. Reconhecimento de padrões. Processamento de imagens.

## **ABSTRACT**

This work demonstrates a study of concepts and image processing techniques in order to recognize patterns. Its objective is creating an artificial device which performs human vision function in signals recognition matter of a Libras digital alphabet. Thus, the problem is delimited, that is specifically recognize gestures of a digital alphabet of this signal language. Finally, a proposal study is discussed and suggested for further work, which, in this case, we give as an example the recognition of Libras language itself and not only its digital alphabet.

Keywords: Computer vision. Pattern Recognition. Image processing.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Alfabeto em Libras	19
Figura 2 - O olho humano-Anatomia	21
Figura 3 - Aquisição da imagem	27
Figura 4 - Subáreas da Computação Gráfica	30
Figura 5 - Etapas de um sistema de VC genérico	32
Figura 6 - Etapas do sistema de reconhecimento de sinais de Libras	38
Figura 7 - Imagem segmentada e binarizada	42
Figura 8 - Resultado aplicação filtro de abertura e fechamento	43
Figura 9 - Imagem com as bordas detectadas	44
Figura 10 - Imagem mapeada para formação da lista de códigos	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASL	<i>American Sing Language</i>
CG	Computação Gráfica
DCBD	Descoberta de Conhecimento em Banco de Dados.
IA	Inteligência Artificial
IRC	Índice de Reprodução de Cor
INES	Instituto Nacional de Educação para Surdos
VC	Visão Computacional

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 Estrutura do trabalho .....	13
<b>2 LIBRAS E A SOCIEDADE.....</b>	<b>15</b>
2.1 O que é a Libras.....	15
2.2 A Língua Americana de Sinais e o processo de aprendizado .....	16
2.3 O Bilinguismo e a Língua de Sinais Sueca.....	17
2.4 A profissão de tradutor / intérprete de Libras .....	18
2.5 Um interpretador de alfabeto digital em Libras.....	19
<b>3 O SENTIDO DA VISÃO .....</b>	<b>21</b>
3.1 O sistema de visão como uma linha de produção .....	21
3.2 Capacidade sensorial e custo de processamento cerebral .....	22
3.3 Ilusão de óptica: A falha do sistema de visão humana.....	23
3.4 A Visão Computacional recorre a Inteligência Artificial .....	23
3.5 Desafios de imitar a visão humana .....	24
<b>4 UMA VISÃO DISCRETA PARA UM MUNDO CONTINUO.....</b>	<b>26</b>
4.1 Geração de uma imagem digital.....	26
4.2 A imagem como uma representação imperfeita da realidade .....	26
4.3 O conceito de pixel .....	27
4.4 A importância da iluminação .....	28
4.5 O equipamento certo para aquisição de imagens .....	29
<b>5 MODELO GENÉRICO DE UM SISTEMA DE VISÃO COMPUTACIONAL .....</b>	<b>30</b>
5.1 Visão geral sobre a Computação Gráfica.....	30
5.2 Conceituando a Visão Computacional .....	31
5.3 Aquisição de imagens .....	33
5.4 Realce .....	33
5.5 Restauração .....	34
5.6 Segmentação .....	34
5.7 Extração de características .....	35
5.8 Classificação e Reconhecimento .....	36

5.9 Decisão .....	36
<b>6 AUTOMATIZANDO A INTERPRETAÇÃO DE UM SINAL DE LIBRAS .....</b>	<b>37</b>
6.1 Equipamento para aquisição da imagem .....	38
6.2 Um tipo de sistema que não opera em tempo real .....	39
6.3 Importância de um ambiente controlado .....	39
6.4 Segmentando a imagem de uma mão humana.....	40
6.4.1 Descartando o fundo irrelevante .....	40
6.4.2 Classe de algoritmos do tipo “vizinho mais próximo” .....	40
6.4.3 Transformando a imagem colorida em uma imagem monocromática .....	41
6.4.4 Aplicando filtros para refinamento .....	42
6.4.5 Detectando bordas e contornos da mão.....	43
6.5 Representando os códigos do contorno da mão .....	45
6.6 Reconhecendo um gesto válido do alfabeto digital .....	46
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>50</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

A linguagem Libras é a língua gestual utilizada pela comunidade surda no Brasil. Embora antiga e com garantias previstas em leis, seu uso não é planejado na nação como é a língua portuguesa.

Uma pessoa surda, conhecedora da linguagem de sinais consegue se comunicar bem em sua comunidade ou juntos de seus familiares. Entretanto sente dificuldade no convívio com pessoas ouvintes pelo fato destas últimas geralmente conhecer somente a língua portuguesa.

Esta dificuldade é observada em ambientes sociais e no trabalho. O fato dos ouvintes não conhecerem Libras gera a exclusão social da pessoa surda. É uma questão social que deve ser combatida.

A proposta deste trabalho é criar uma aplicação que ajude a comunicação de pessoas surdas com as ouvintes, estas últimas verão em tela a letra da língua portuguesa que representa o gesto que o interlocutor em Libras fez em frente a uma câmera acoplada ao computador.

No contexto da aplicação serão demonstradas as etapas comuns a qualquer sistema de visão computacional, serão discutidos conceitos e, por fim, feito uma proposta de um conjunto de técnicas necessárias para resolver o problema em questão.

### **1.1 Estrutura do trabalho**

No capítulo 2 é apresentado um resumo da história de Libras e seu contexto na sociedade. São levantadas as atribuições necessárias para ser um profissional de tradução e interpretação entre Libras e a Língua Portuguesa. Por fim, é salientada que esse trabalho se restringe a interpretação de alguns sinais do alfabeto digital e não a totalidade de toda a linguagem gestual.

No capítulo 3 é descrito como é o sistema de visão humana. Essa parte do trabalho tem o objetivo de explicar que a visão computacional busca imitar o funcionamento da visão humana, fazendo de certa forma, um sistema computacional perceber o ambiente através da cópia do sentido mais utilizado pelo ser humano.

No capítulo 4 é descrito o que é a imagem digital, objeto central de estudo e aplicação de técnicas da visão computacional. É demonstrado o fato que uma

imagem digital é apenas uma representação imperfeita da realidade. Por fim, é salientado que um projetista de um sistema de visão computacional deve ter implícito o conhecimento dessas limitações para que crie sistemas específicos para problemas determinados.

No capítulo 5 são explicadas as etapas de qualquer sistema de visão computacional. São retomadas em partes as citações do capítulo 3 que diz que a área de VC procura imitar a visão humana. São destacados os conceitos envolvidos em cada etapa. Este conhecimento é básico para que desenvolvedores de soluções em visão computacional possam se guiar, buscando em seguida técnicas específicas aplicadas a cada etapa de processamento e análise de imagens.

O capítulo 6 aponta as técnicas e funções utilizadas para a criação do programa de computador proposto neste trabalho. Não é descrito a escolha de uma técnica em detrimento a outra. Salvo em alguns casos, como a etapa de segmentação, que é apontado diretamente à necessidade de escolha de técnicas de subtração de fundo baseada no movimento e treinamento de máquina.

No capítulo 7 temos a conclusão, da mesma forma que reflete as dificuldades dos desenvolvimentos de aplicações da visão computacional, convida pesquisadores e desenvolvedores a conhecer os principais conceitos pertinentes à área. Assim, será possível criar outras soluções tecnológicas baseadas em visões para atender as demandas do mercado, outrora, facilitar a vida das pessoas na sociedade.

## 2 LIBRAS E A SOCIEDADE

Este capítulo apresenta a Língua Brasileira de Sinais (Libras), desde o seu surgimento até sua oficialização pelo governo brasileiro.

São citadas línguas gestual-visuais de outros países e, sua importância direta ou indireta para o desenvolvimento da nossa própria língua e particularidades de uma língua de sinais comparada a uma língua oral-auditiva.

Por fim, é descrito os desafios do profissional que atua com tradução e interpretação de Libras para a Língua Portuguesa. E, com base na atuação profissional de tradutor/intérprete<sup>1</sup>, é descrito um aplicativo atual no mercado, que em partes, automatiza o trabalho de tradução da Língua Portuguesa para Libras.

### 2.1 O que é a Libras

A Língua Brasileira de Sinais (Libras) é um sistema linguístico de base visual-motora, sendo uma das línguas oficiais do Brasil. Como qualquer outra língua de base visual-motora ou oral-auditiva, Libras possuem características próprias e uma estrutura gramatical singular.

Art. 1º É reconhecida como meio legal de comunicação e expressão a Língua Brasileira de Sinais - Libras e outros recursos de expressão a ela associados. Parágrafo único. Entende-se como Língua Brasileira de Sinais - Libras a forma de comunicação e expressão, em que o sistema linguístico de natureza visual-motora, com estrutura gramatical própria, constituem um sistema linguístico de transmissão de idéias e fatos, oriundos de comunidades de pessoas surdas do Brasil. (BRASIL, 2002, lei 10.436).

Como observado no primeiro artigo da lei 10.436, somente em 2002 foi oficializado no Brasil uma língua específica para a comunidade surda. Entretanto, seu surgimento, vem muito antes disso, precisamente na metade do século XIX.

Segundo Valiante (2009 apud MOURA, 1996, p. 20), no ano de 1857 foi fundado no Rio de Janeiro o “Imperial Instituto de Surdos Mudos”, como hoje é conhecido o INES (Instituto Nacional de Educação para Surdos). O fundador, um surdo francês, chamado de Edward Huet, trouxe e introduziu no Brasil a Língua de Sinais Francesa que se mesclou com os sinais praticados pelos surdos no país.

---

<sup>1</sup> O tradutor transpõe o significado de textos de uma língua a outra. Enquanto que, o intérprete traduz oralmente ou por sinais significados.

Nesse período surgiu o alfabeto digital<sup>2</sup> e a língua Libras, porém não oficialmente.

Hoje, o INES é o órgão oficial no que diz respeito a tudo que envolve Libras no Brasil, conforme observado no texto abaixo:

Único em âmbito federal, o INES ocupa importante centralidade, promovendo fóruns, publicações, seminários, pesquisas e assessorias em todo o território nacional. Possui uma vasta produção de material pedagógico, fonoaudiológico e de vídeos em língua de sinais, distribuídos para os sistemas de ensino. (INES, 2015).

A Língua de Sinais Americana, Sueca e Francesa, ofereceram contribuição para o desenvolvimento e a oficialização da linguagem Libras pelo governo brasileiro.

## 2.2 A Língua Americana de Sinais e o processo de aprendizado

A Língua Americana de Sinais ASL (*American Sing Language*) é o modelo de pesquisa por várias décadas sobre sua relação com o aprendizado. Neste texto não são aprofundados os resultados da pesquisa, porém, é ressaltada uma descoberta: crianças surdas, praticantes de língua visual-motora tem o mesmo nível de aprendizado que crianças ouvintes, que praticam línguas oral-auditivas.

Há algumas décadas que, nos Estados Unidos, pesquisadores vêm desenvolvendo pesquisas sobre a língua de sinais americana (ASL) e sobre sua aquisição por crianças.

Todas estas pesquisas têm como sujeitos, crianças surdas, filhas de pais surdos, portanto, a aquisição da ASL se dá como primeira língua (L1), mas, além destas pesquisas, há outras que estão trabalhando também com crianças surdas, filhas de pais ouvintes e com crianças ouvintes, filhas de pais surdos. Outras pesquisas, ainda, trabalharam com crianças surdas filhas de pais ouvintes que, devido ao fato de não serem expostas à ASL, desenvolvem sistemas de comunicações gestuais inventadas. Destas pesquisas pode-se destacar que o processo de aquisição da ASL é igual ao processo de aquisição de línguas orais auditivas [...](FELIPE, 2007, p.176).

O fato de se comprovar através de pesquisas científicas, que uma Língua de Sinais traz o mesmo nível de capacitação de conhecimento adquiridos, até então através de uma língua oral-auditiva, podem motivar governos a oficializar línguas de sinais e, por fim, promover políticas de educação bilíngue.

---

<sup>2</sup> Alfabeto digital é uma tabela que contém as letras de A a Z e, em cada letra há o gesto de mão que representa cada letra.



## 2.3 O Bilinguismo e a Língua de Sinais Sueca

Bilinguismo é a coexistência de dois sistemas linguísticos em nível social ou individual.

Pode-se falar de bilinguismo social e individual, o primeiro é quando uma comunidade, por algum motivo precisa utilizar duas línguas, o segundo é a opção de um indivíduo para aprender outra língua além da sua materna. Geralmente os membros das minorias linguísticas se tornam indivíduos bilíngues por estarem inseridos em comunidades linguísticas que utilizam línguas distintas. (FELIPE, 2007, p. 176).

Valiante (2009) afirma que houve muitas pesquisas envolvendo o uso da Língua de Sinais e o bilinguismo. “Bilinguismo proporciona aos surdos desenvolverem desde pequenos, a consciência de que fazem parte de uma comunidade linguisticamente diferente, inseridos dentro de outra comunidade majoritária (ouvintes)”. (VALIANTE, 2009 apud ALVES; BERTHOLO, 1998, p. 56).

O modelo de aprendizado bilíngue para a comunidade surda classifica as línguas com 2 termos: a língua de aquisição (L1) e a língua oral-auditiva oficial do país em questão (L2). No caso do Brasil, a língua de aquisição seria a Libras e a segunda língua de aprendizado seria o português. Segundo Valiante (2009, p. 64), “[...] o modelo de educação bilíngue considera o canal visual-gestual como essencial para o desenvolvimento da linguagem do surdo [...]”.

O aluno surdo, que adquire conhecimento através de uma Língua de Sinais, como canal principal, não deixa de aprender uma língua de base oral-auditiva, porém, apenas na modalidade escrita.

O primeiro modelo de que se tem notícia do bilinguismo como base de educação da comunidade surda foi apresentado na Suécia.

A Língua de Sinais Sueca foi introduzida no currículo, em conjunto com o sueco escrito, nas escolas para surdos. Os professores devem conhecer a Língua de Sinais Sueca, sua estrutura e gramática, além dos princípios filosóficos e educacionais do Bilinguismo [...]. Todos os surdos têm direito a um intérprete, quando necessário. Sem dúvida alguma, a Suécia é um país exemplo da incorporação da proposta bilíngue na educação de surdos. (VALIANTE, 2009, p. 17).

## 2.4 A profissão de tradutor / intérprete de Libras

Aprender uma língua, seja ela de sinais ou oral-auditiva, exige conhecer sua estrutura gramatical, formas de saudações, numerais, etc. Além de tudo isso, cada país ou região possui seu dialeto e formas peculiares de comunicação. Para as línguas do tipo gestual-visual, há outra característica essencial que deve ser dominada, que é a tridimensionalidade do espaço.

As línguas de sinais, por serem de modalidade gestual-visual utilizam, como elemento gramatical, a tridimensionalidade do espaço para a comunicação. Assim, uma pessoa que está aprendendo uma dessas línguas, precisa ficar atenta para a visualização das informações no espaço, porque elas sempre estão sob a perspectiva do emissor da mensagem e precisa-se apreendê-las ao inverso, como uma imagem no espelho. (FELIPE, 2007, p. 67).

Todo curso de línguas é dividido em níveis de aprendizado e, para ser tradutor/intérprete de qualquer língua, deve-se dominar as duas línguas que vai ocorrer à tradução. Para a profissão de tradutor em Libras, existe um capítulo específico no decreto 5.626 que trata sobre o assunto, no caso o capítulo V.

Dado o nível de qualificação exigida para esta profissão, à lei é bem clara no artigo 17 “A formação do tradutor e intérprete de Libras - Língua Portuguesa deve efetivar-se por meio de curso superior de Tradução e Interpretação, com habilitação em Libras - Língua Portuguesa.” (BRASIL, Decreto 5.626 de 22 de dezembro de 2005).

A forma básica para proceder a uma tradução em Libras é a utilização de um alfabeto digital formado por um conjunto de sinais, pela figura1 pode-se observar os sinais e a sua tradução na Linguagem Portuguesa.

Figura 1 - Alfabeto em Libras



Fonte: Rodrigues, 2007.

## 2.5 Um interpretador de alfabeto digital em Libras

O alfabeto digital, único para cada língua de sinais, traz a possibilidade de se entender e soletrar as letras entre pessoas ouvintes e surdas. Porém, como visto acima, a língua de sinais não é só o alfabeto digital e, exige uma tradução muito maior envolvendo a tridimensionalidade e o contexto da situação onde se está praticando o uso da língua.

Com as facilidades trazidas pela Informática, existem empresas que criaram aplicativos que fazem a tradução da língua oral-auditiva para a gestual-visual. No caso de Libras, existe o aplicativo “Hand Talk”, que além de traduzir o alfabeto digital, traduz outros gestos. Embora uma ferramenta interessante e que facilita o trabalho de tradução, porém não elimina o papel do tradutor/intérprete humano.

Os computadores que realizam traduções automáticas oferecem uma tradução razoável de uma língua para outra, mas não pode fornecer uma tradução perfeita o tempo todo. A Hand Talk é uma potente ferramenta complementar ao trabalho do intérprete de Libras. Na internet, por exemplo, é impossível atualmente os humanos interpretarem em Língua de Sinais os bilhões de novas notícias diárias dentro de milhões de sites espalhados pelo mundo, automaticamente. Já o Hugo consegue está presente em todos esses sites, ao mesmo tempo, levando acessibilidade para milhões de surdos, instantaneamente. (TALK, 2015).

Além da dificuldade apresentada no aplicativo “Hand Talk”, existem outras limitações. Numa comunicação, muitas vezes, envolve o emissor e o receptor. Sendo assim, um receptor de sinais em Libras pode responder com gestos em Libras e, a tecnologia atual do “Hand Talk”, não permite esta tradução. Mesmo diante de todas estas limitações, é demonstrado em seu site o seu valor para a sociedade. “Eleito pela ONU o melhor app social do mundo.” (TALK, 2015).

Enfim, é demonstrado a proposta deste trabalho acadêmico, onde foi executado um estudo para fazer com que uma entrada de dados, feita através de gestos em língua de sinais, possa ser traduzida em uma letra no computador. Serão usadas algumas letras do alfabeto digital de Libras.

O próximo capítulo, será demonstrado como é o processo de funcionamento de uma visão humana, explicando o que é a ilusão de óptica, e citando a Visão Computacional com a Inteligência Artificial.

### 3 O SENTIDO DA VISÃO

O capítulo inicia introduzindo o funcionamento da visão humana com toda sua capacidade de percepção do ambiente e processamento das informações.

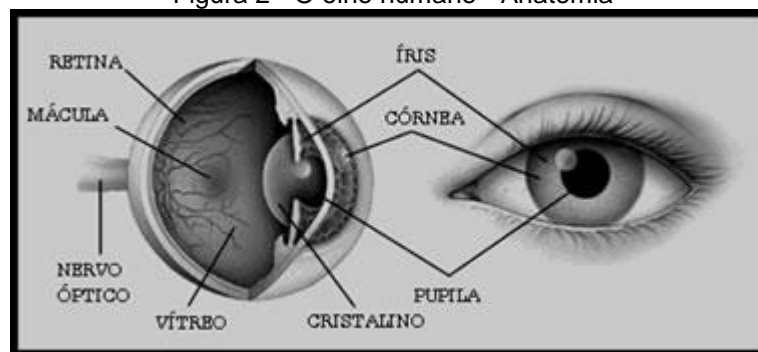
Explicando o que é ilusão de óptica e como um sistema computacional deve se comportar diante desta situação. É descrito o porquê, em algumas aplicações de Visão Computacional é imprescindível utilizar em conjunto a Inteligência Artificial.

No final são citados os desafios dos projetistas na tentativa de automatizar a visão humana.

#### 3.1 O sistema de visão como uma linha de produção

Segundo Conci, Azevedo e Leta (2008, p. 11), o processo da visão humana é executado em função de um complexo sistema. Sendo que, o olho humano é apenas um componente pertencente a um sistema maior. A figura 2 apresenta as características do olho humano.

Figura 2 - O olho humano - Anatomia



Fonte: Anatomia.

Ainda segundo Conci, Azevedo e Leta (2008, p. 11), o processo se inicia na córnea, por onde se capta a luz do mundo exterior. Os estímulos luminosos recebidos são enviados a retina onde este outro subcomponente do olho transforma estímulos luminosos em sinais elétricos.

A interpretação e reconhecimento de uma imagem em si acontecem no cérebro. Este necessita receber os sinais elétricos processados pela retina. E quem faz este trabalho é o nervo óptico.

Grosso modo, o processo pode se comparar a uma linha de produção de uma fábrica convencional. A matéria-prima chega, passa por esteiras e máquinas de beneficiamento. No final do processo, temos o produto final. A matéria-prima é a luz captada do mundo exterior e, o produto final, é a interpretação e o reconhecimento da imagem.

### **3.2 Capacidade sensorial e custo de processamento cerebral**

Conforme observado por Conci, Azevedo e Leta (2008, p. 11), a retina é a chave para a percepção visual. Possui por volta de 100 milhões de sensores que convertem o estímulo nervoso para o sinal elétrico. Ainda segundo os autores, uma câmera digital possui cerca de 16 milhões de sensores. Ou seja, uma capacidade seis vezes menor de captação comparado ao olho humano.

Com relação ao uso da capacidade cerebral pela visão, o autor afirma: “De todos os sentidos humanos, a visão é que fornece a maior quantidade de informação a ser processada pelo cérebro, estima-se que metade do processamento cerebral humano se destina à visão [...]” (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008, p. 12). Mesmo dedicando metade de seu processamento a visão, segundo os autores citado acima, afirmam que o cérebro não processa todo campo de visão, apenas as partes que captam sua atenção de uma cena.

Da mesma forma, um sistema de VC ao receber estímulos de um sensor como uma câmera, deve atuar somente no domínio do problema a que foi programado. Por exemplo, se a razão de existência de determinado sistema for localizar aumento de áreas de desmatamento a partir de imagens de satélite, o algoritmo não deve gerar processamento para questões como demarcar cidades ou regiões fluviais. Para ser eficiente, o sistema deve atuar somente em função do domínio do problema a que foi designado.

Apesar de toda a complexidade, o sistema da visão humana é um sistema falho. Estas falhas são conhecidas como ilusão de óptica.

### **3.3 Ilusão de óptica: A falha do sistema de visão humana**

Neste trabalho não irá se adentrar aos detalhes que cercam a anatomia e o funcionamento de um sistema de visão humana, porém, algumas facetas devem ser esclarecidas, como é o caso da ilusão de óptica.

Os estímulos ambíguos apresentam a seus sistemas perceptivos o desafio de reconhecer uma figura única a partir de várias possibilidades. Uma e outra interpretação está correta com relação a um determinado contexto. Quando seus sistemas perceptivos o levam a experimentar um padrão de estímulo de forma passível de ser demonstrado como incorreta, você está experimentando uma ilusão. (GERRIG; ZIMBARDO, 2004, p. 156).

O preceito para visão humana ter falha, leva a repensar como desenvolver sistemas aplicando a Visão Computacional. Adiantando o que será descrito nos próximos subcapítulos, a VC imita o sistema natural de visão do ser humano e, por isso, ao criar algoritmos para interpretar informações a partir de elementos visuais, é desejável que não se traga os defeitos que a visão natural tem implícito.

Casos como extrair informações em imagens ambíguas, ou mesmo, reconhecer objetos que sequer existem associações em uma base de dados, pode ser uma tarefa extremamente complicada na ciência da computação. Da mesma forma que a visão humana falha em determinar o significado de uma imagem dentro de um contexto, um algoritmo, processando a mesma imagem, teria dificuldade para extrair significado dentro de um domínio de problema preestabelecido.

É tratada em seguida a automatização da inteligência junto com a visão.

### **3.4 A Visão Computacional recorre a Inteligência Artificial**

Muitas vezes o cérebro humano recorre a padrões para identificar o que um determinado objeto encontrado em uma cena significa. Se o aluno aprender na escola o que é um primata, pode ir a qualquer zoológico ou safári do mundo que, se deparar com algum animal, saberá identificar se este é da classe dos primatas.

Há sistemas de visão computacional que, dependendo de seu domínio de atuação, deve ser preparado para imitar este comportamento da visão humana, identificando e extraíndo informações de uma imagem por padrões. Um exemplo é um sistema de análise de imagens de tomografia. Os algoritmos devem estar preparados para identificar alguma lesão no tecido, independente de que forma,

tamanho ou textura for.

Quando temos somente um padrão de objeto, é preferível que se utilize técnicas de inteligência artificial junto com a VC a fim de criar um sistema computacional com maior eficiência. Pois, se reconhece o padrão do objeto e não o objeto em si.

Com o desenvolvimento da inteligência artificial, área da ciência da computação em que os programas de computador são desenvolvidos para simular a cognição, passou a ser possível elaborar programas de computador que possam perceber visualmente o ambiente [...]. Se a informação visual puder ser padronizada, o objetivo da análise pode ser seu reconhecimento ou classificação, considerando um catálogo de padrões possíveis [...] Essa forma particular é chamada de reconhecimento de padrões [...]. (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008, p. 05).

Além da dificuldade de automatizar algoritmos para reconhecimento de padrões, são tratados a seguir os desafios de se imitar a visão humana.

### **3.5 Desafios de imitar a visão humana**

Segundo Conci, Azevedo e Leta (2008, p. 60), esclarece que é uma tarefa complicada criar um sistema de visão computacional, pois este em essência imita o comportamento da visão humana, de natureza muito complexa.

Dependendo do domínio do problema, deve-se saber entender as limitações tecnológicas para que não sejam criadas falsas expectativas quanto ao produto final.

Para pretensões de novos projetos em visão computacional, o escopo e os mínimos detalhes de funcionamento devem ser bem definidos. Pois, qualquer item que seja intangível, pode inviabilizar o projeto. Por exemplo, se for necessário um sistema que necessite de respostas rápidas, próximas às humanas, hoje pode ser impossível.

A velocidade de resposta de um sistema humano é da ordem de 0,06 s (não se detectam mais de 30 quadros por segundo em animações). [...] Na visão computacional, a velocidade de aquisição depende diretamente do tamanho da imagem, do tempo de captura do equipamento e do tipo de câmera. Dependendo desses fatores, pode-se considerar que a aquisição de imagens em VC é cerca de 10 vezes maior que na visão humana. (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008, p. 61).

Segundo os autores citados acima, afirmam que no aspecto da qualidade das medições de dados quantitativos, a visão computacional se comporta de forma bem



superior à humana. “A visão humana pode discernir de 10 a 20 níveis de cinza, enquanto dispõe para a visão computacional facilmente de 256 tons de cinza” (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008, p. 61). O autor cita as áreas médicas e espaciais como exemplos que se servem bem de aplicações de visão computacional devido aos requisitos de qualidade das medições.

O próximo capítulo trata de esclarecer os conceitos gerais que representam uma imagem digital.

## 4 UMA VISÃO DISCRETA PARA UM MUNDO CONTINUO

Neste capítulo será tratado o que é uma imagem digital. Será explicado o porquê ela nunca representa com precisão a realidade, mesmo que seja utilizada uma câmera digital de alta qualidade.

Por fim é demonstrado que a iluminação é um fator importante para uma eficiente criação de imagem digital.

### 4.1 Geração de uma imagem digital

Como será explicada no próximo capítulo, a Computação Gráfica (CG) que engloba o estudo de várias subáreas, dentre elas a visão computacional, tema central deste trabalho. Para tratativa deste, devem-se estudar conceitos e técnicas em função de determinados aspectos, como é o caso da imagem digital.

A imagem digital, segundo Conci, Azevedo e Leta (2008) é uma representação visual. E esta pode ser criada a partir de síntese ou aquisição de imagens. Neste trabalho serão tratadas somente imagens digitais geradas a partir de aquisição, ou seja, de modelos do mundo real.

### 4.2 A imagem como uma representação imperfeita da realidade

Segundo Scuri (2002), as imagens do mundo real são formadas por infinitas representações de valores de posição espacial, cores e outros atributos como brilho e resolução. O autor ainda ressalta que imagens digitais nunca são modelos fidedignos da realidade. Isto ocorre pelo fato que um computador possui arquitetura binária e impossibilidade técnica de apresentar números contínuos.

O computador só é capaz de armazenar bits, um valor que pode ser 0 ou 1. Para simplificar as coisas juntou-se 8 bits formando uma palavra chamada de byte. Um byte então pode assumir  $2^8 = 256$  valores diferentes, variando de 0 a 255.[...]

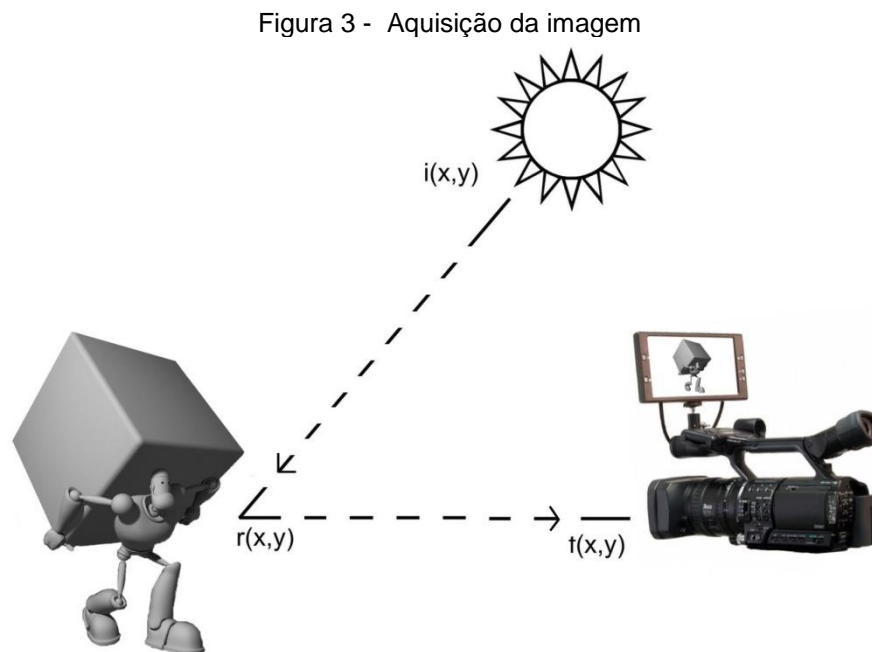
O computador trabalha sempre com números inteiros ou na melhor das hipóteses com uma aproximação de um número real, chamada de ponto flutuante (isso porque o número de bits dedicado para as casas decimais é flexível de acordo com o número). Por consequência, não é possível representar uma função contínua no computador. Podemos apenas simulá-la. (SCURI, 2002, p. 14).

A imagem digital é em essência uma simulação discreta da realidade. É definida por Gonzalez e Woods (2000) como uma matriz bidimensional, de função no formato  $f(x,y)$ . Cada ponto da imagem é chamado de pixel.

### 4.3 O conceito de pixel

Segundo Scuri (2002), pixel vem do inglês *Picture Element*. “O pixel pode ser definido como um elemento da imagem ou a menor unidade individual da imagem.” (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008, p. 69).

Mais importante do que explicar o que é um pixel, é conceituar como é gerado o valor que o representa. Segundo Conci, Azevedo e Leta (2008), a formação do valor de um pixel é definida pela taxa de reflexão do objeto em sua posição real, bem como a taxa de intensidade luminosa do ambiente, como demonstrado na figura 3.



Fonte: Conci; Azevedo; Leta, 2008.

Conforme ilustrado na figura e enfatizado por Conci, Azevedo e Leta (2008), o fator iluminação é algo importante para definir a qualidade da imagem.

Assim sendo, para melhorar a eficiência na geração de uma imagem digital, deve-se escolher bem a fonte luminosa.

#### 4.4 A importância da iluminação

Para um sistema de visão computacional ser eficiente deve-se primeiramente ter qualidade desde o início, que é o processo da aquisição de imagem.

Alguns sistemas estarão em operação ao ar livre, sob a influência de luz natural, outros, estarão sob a iluminação artificial.

Dependendo do domínio da aplicação, um sistema deve interpretar corretamente as cores, outros, simplesmente, extrair a forma de determinado objeto. Assim sendo, a iluminação é um fator importante no processo.

Para a iluminação artificial, existem vários modelos e marcas disponíveis. “Cada fabricante desenvolve modelos de lâmpadas segundo as necessidades de uso percebidas na sociedade.” (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008, p.28).

O foco deste trabalho não é descrever cada categoria ou modelo de lâmpada disponível, mas sim, demonstramos um conceito importante que é intrinsecamente ligado à questão de cor, que é o IRC (Índice de Reprodução de Cor).

Um conceito importante no estudo de iluminantes é o índice de reprodução de cor (IRC). O IRC é a variação que se observa a partir da visão da cor dos objetos sob o iluminante em estudo, em relação a um iluminante-padrão [...] O IRC é definido como 100% para lâmpadas incandescentes. (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008, p. 33).

Ainda segundo os autores citados acima, as lâmpadas artificiais no geral estão classificadas em dois tipos, incandescente e de descarga. Cada categoria possui subtipos que devem ser minuciosamente escolhidos em função da necessidade do sistema de visão computacional a ser desenvolvido. Por exemplo, existem tipos de lâmpadas de descarga que tem um índice de IRC variando de 10% a 98%.

Alguns modelos podem ser mais caros e econômicos, porém traz um índice de variação de cor mais próximo ao iluminante-padrão, que podem ser fontes naturais de iluminação ou lâmpadas incandescentes. Outros modelos podem ser mais baratos, mas, que trazem um custo energético alto, como é o caso de lâmpadas incandescentes, porém, trazem um alto índice de IRC.

Tão importante quanto à iluminação é o equipamento que se utilizará para captar a imagem. A próxima sessão será tratada sobre esse equipamento.

#### 4.5 O equipamento certo para aquisição de imagens

A utilização de sistemas de visão computacional serve para resolver problemas em várias áreas. “Qualquer área onde se possa capturar uma imagem e dela obter resultados é uma área onde pode ser usado um sistema de processamento de imagens.” (SCURI, 2002, p. 9).

Para cada área, há um domínio de problema específico. Por exemplo, câmeras utilizadas para sensoriamento remoto não pode ser o mesmo utilizado para reconhecer placas de veículo.

O foco deste trabalho é aplicar conceitos de VC para criar um sistema que interprete sinais de um alfabeto digital de Libras a partir de gestos feitos por uma pessoa. Para isso, será utilizada uma câmera digital comum. Se fosse aplicada interpretação de imagem gerada em um ambiente controlado, como um scanner, o resultado final seria melhor.

Scanners possuem a vantagem de possuírem altas resoluções e operarem sob condições de luz totalmente sob controle. Mas os dados precisam ser planos e colocados sob sua superfície para aquisição.

Câmeras são mais flexíveis e portáteis, podem adquirir dados em condições diversas, mas são afetadas pelas condições de iluminação e possuem resoluções muito menores do que scanners.[...] uma outra vantagem do uso de câmeras é que você pode acompanhar o processo em tempo real. (SCURI, 2002, p. 63).

O próximo capítulo será abordado os conceitos da área da ciência da computação que estuda a interação humano-computador, chamada visão computacional.

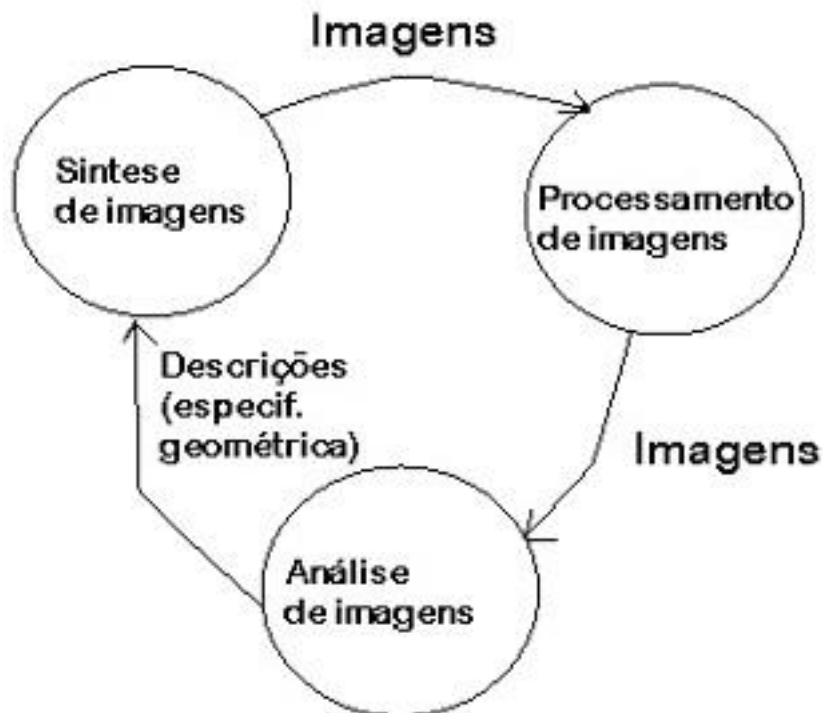
## 5 MODELO GENÉRICO DE UM SISTEMA DE VISÃO COMPUTACIONAL

Neste capítulo são apresentadas as subáreas da computação gráfica e, em seguida, definindo o que é visão computacional. Onde são explicadas as fases para o processamento de imagem.

### 5.1 Visão geral sobre a Computação Gráfica

A computação gráfica possui três grandes subáreas, que é a área de síntese, processamento e análise de imagens, como demonstrada na figura 4.

Figura 4 - Subáreas da computação gráfica



Fonte: Fontes.pro.br<sup>3</sup>.

Azevedo e Conci (2003) define a Síntese de Imagens como uma área de criação artificial a partir de modelos geométricos. Ainda sobre esta subárea, o autor deixa bem claro:

<sup>3</sup> Disponível em: <<http://www.fontes.pro.br/educacional/materialpaginas/cg/arquivos/introducao.htm>>. Acesso em: 06 ago. 2015.

A computação gráfica trata da síntese de imagens através do computador. Sintetizar uma imagem não é mostrá-la no computador digitalmente a partir da captura de algo existente. Isso é tratado no Processamento de Imagens. Sintetizar uma imagem (uma cena ou um objeto) é criá-la em termos da definição dos dados dos objetos que a compõem. (AZEVEDO; CONCI, 2003, p. 249).

Processamento de imagens é uma subárea que abrange um conjunto de conceitos e técnicas aplicadas a imagens digitais.

As funções de processamento de imagens digitais podem ser classificadas em duas classes, por escopo ou por resultado. Por escopo, está relacionado com técnicas de processamento. Por resultado, está relacionado com os tipos de resultado de cada técnica. (SCURI, 2002, p. 80).

São aplicadas técnicas de processamento de imagens em todas as etapas de um sistema de visão computacional.

A terceira grande subárea da CG é a Análise de Imagens. É a subárea que estuda conceitos e técnicas para extrair características e informações de imagens. Como será visto na próxima sessão, é a subárea onde a Visão Computacional atua. Sobre a complexidade desta, o autor lembra:

A interpretação de imagens é um processo excessivamente complexo. Dificuldades acontecem tanto devido à grande quantidade de dados que devem ser processados como à falta de ferramentas fundamentais de processo para chegar ao resultado desejado. (GONZALEZ; WOODS, 2000, p. 455).

A partir desta dificuldade, Gonzalez e Woods (2000) sugere limitar a generalidade do problema. Ou seja, o domínio do problema deve ter um escopo bem definido logo no início de qualquer projeto de um sistema de visão computacional.

## **5.2 Conceituando a Visão Computacional**

A visão computacional é uma área dentro da computação gráfica relacionada à análise de imagens, “[...] trata da extração de informações das imagens e da identificação e classificação de objetos presentes nessa imagem.” (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008, p. 5).

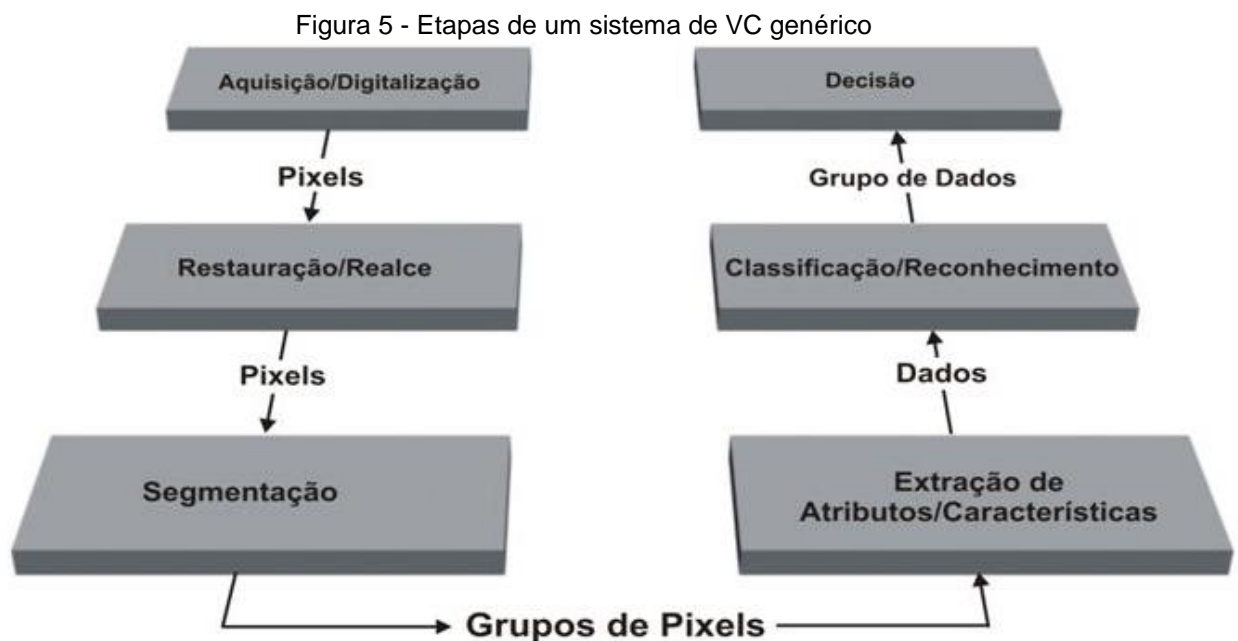
Sobre a abrangência de atuação, o autor cita como exemplo que essa área atua em reconhecimento de pessoas, objetos e peças fora do padrão de uma linha

de produção, sensoriamento remoto, etc.

É citado por Conci, Azevedo e Leta (2008, p. 5) que a visão computacional pode atuar em conjunto com a área da Inteligência Artificial. Isso ocorre quando há necessidade de tomada de decisão a partir de informações extraídas de imagens. Nesse contexto, o autor expõe outra definição para a área.

[...] Nesse contexto, pode-se definir a visão computacional como o domínio da ciência da computação que estuda e aplica métodos que permitem aos computadores “compreenderem” o conteúdo de uma imagem. (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008, p. 5).

As etapas de processamento de imagem de um sistema de visão computacional serão explicadas nas próximas sessões. A figura 5 apresenta as etapas de um sistema de VC genérico.



Fonte: Conci; Azevedo; Leta, 2008.

Para um sistema de visão computacional ser assertivo em sua operação, deve aplicar corretamente uma sequência de técnicas de processamento de imagens digitais. A primeira etapa de qualquer sistema de visão computacional é a de aquisição de imagens como será apresentada na próxima sessão.



### 5.3 Aquisição de imagens

De acordo com Gonzalez e Woods (2002), para a etapa de aquisição ser realizada, são necessários dois componentes: dispositivo físico de captura e um digitalizador. “Digitalizador é um dispositivo para a conversão da saída elétrica de um dispositivo de sensoriamento físico para a forma digital”. (GONZALEZ; WOODS, 2002, p. 7).

O dispositivo físico de captura é intrinsecamente ligado ao domínio do problema da aplicação do sistema de visão computacional. Segundo os autores citado acima, os dispositivos de captura devem ser sensíveis a uma ou mais bandas do espectro de luz sendo o espectro de luz visível, infravermelha, ultravioleta ou mesmo raios-x.

Na aplicação prática deste trabalho será utilizada uma câmera que capta a luz visível, no caso, uma câmera ligada ao computador.

### 5.4 Realce

Segundo Conci, Azevedo e Leta (2008, p. 55) “Realce tem por objetivo destacar detalhes da imagem que são de interesse para análise ou que tenham sofrido deterioração”.

Gonzalez e Woods (2000, p. 115) ressalta que as técnicas de processamento de imagens utilizadas para o realce, são divididas em duas categorias: métodos de domínio espacial e métodos no domínio de frequência.

O domínio espacial refere-se ao próprio plano da imagem, e as abordagens nesta categoria são baseadas na manipulação direta dos pixels das imagens. Técnicas de processamento no domínio da frequência são baseadas na modificação das transformadas de Fourier da imagem. (GONZALEZ; WOODS, 2002, p. 115)

Conci, Azevedo e Leta (2008, p. 117) chamam as operações de domínio de frequência de operações globais na imagem e, assim define: “Operações globais são operações em que um pixel da imagem resultante depende de um processamento realizado em todos os pixels da imagem original”.

O autor ainda enfatiza que muita das técnicas utilizadas no processamento de domínio de frequência, ou operações globais, é utilizada na etapa de análise de

imagem. “Todas essas transformadas geram informações sobre a imagem original. Muitas delas transformam imagem em dados, sendo, portanto, técnicas também de análise de imagens, e não apenas de processamento.” (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008, p. 117).

Sobre as transformadas de Fourier citada nesta sessão, Scuri (2002, p. 86) diz “é base fundamental para toda teoria de processamento de sinais e com ela pode-se realizar uma série de operações muito importantes com imagens”.

O próximo capítulo, onde serão descritos algumas técnicas utilizadas em cada etapa, será discutido mais a fundo as operações espaciais e de domínio de frequência.

## **5.5 Restauração**

Segundo Gonzalez e Woods (2002, p. 180) a restauração estuda conceitos e técnicas que tem o objetivo de recuperar imagens degradadas. Ainda segundo o autor, é de suma importância conhecer o fenômeno que causou a degradação de determinada obra, a fim de se maximizar a possibilidade de êxito.

Embora o tema central deste trabalho envolva imagem digital, restauração também é utilizada para recuperar objetos.

Técnicas de restauração são utilizadas para obras de arte. Tanto para restauração, como para ajudar a verificar a autenticidade.

Evitar a degradação com o tempo de obras de arte não é um processo simples, mas possuindo uma imagem da obra original que pode ser processada para ajudar no processo de restauração para se obter um retrato mais fiel o possível. Além disso, existem estudos para a verificação da autenticidade de pinturas através da análise das pinceladas de cada pintor. (SCURI, 2002, p. 81).

## **5.6 Segmentação**

Gonzalez e Woods (2002, p. 295) diz que a segmentação é a primeira etapa do processo de análise de imagem. O objetivo principal é, a partir da definição do domínio do problema, separar os objetos de uma imagem para servir as etapas seguintes no processo geral de interpretação e reconhecimento.

Para imagens monocromáticas, segundo Gonzalez e Woods (2002, p. 205), as técnicas se baseiam em duas propriedades da imagem, que são a

descontinuidade e similaridade de tons de cinza.

Para sistemas de visão computacional ainda existem técnicas de segmentação que se baseiam em algo que o sistema de visão humana utiliza para identificar um objeto, que é a movimentação. Se determinado objeto se mover, entre a leitura de uma imagem e outra, significa que aquele objeto é algo que pode ser segmentado.

O movimento é uma poderosa pista usada por seres humanos e animais para a extração de um objeto de interesse de um fundo de detalhes irrelevantes. Em aplicações de imageamento, o movimento é originado de um deslocamento relativo entre o sistema sensor e a cena sendo observada [...]. (GONZALES; WOODS, 2002, p. 331).

## **5.7 Extração de características**

Segundo Conci, Azevedo e Leta (2008, p. 56) a extração de características é aplicada em função de imagens previamente segmentadas. Nesta fase, temos os dados binários da imagem e também informações relativas à imagem original, como luminosidade ou textura.

De acordo com o domínio do problema, devem-se verificar os atributos relevantes de cada objeto segmentado.

Segundo os autores citados acima, algumas técnicas de extração de características vão analisar os dados binários. Como exemplo é citado a extração de características como dimensão e geometria dos objetos segmentados.

Em alguns casos, a extração de características é executada diretamente na imagem original. É o caso da extração de informações de luminosidade e textura dos objetos.

Após a aplicação de técnicas nesta etapa serem concluída, o sistema de visão computacional alimenta a próxima etapa, que é a de classificação e reconhecimento dos objetos.

## 5.8 Classificação e Reconhecimento

Nesta etapa, o sistema de visão computacional, de posse de uma base de dados onde há padrões de objetos, busca nas propriedades extraídas na fase anterior um comparativo. Tentando conseguir uma classificação adequada ou aproximada para cada objeto.

Gonzalez e Woods (2002, p. 409) define padrão como: “[...] um padrão é uma descrição quantitativa ou estrutural de um objeto ou alguma outra entidade de interesse em uma imagem [...]. Em geral, um padrão é formado por um ou mais descritores”.

Segundo Conci, Azevedo e Leta (2008, p. 260), a etapa de classificação e reconhecimento de padrões, torna a visão computacional uma área multidisciplinar.

O termo padrão, no contexto de análise de imagem, visão computacional e inteligência artificial, se referem a qualquer aspecto que pode ser padronizado em uma estrutura armazenável [...].

O reconhecimento de padrões se relaciona não só com o processamento de imagem, mas também com a inteligência artificial [...]. (CONCI; AZEVEDO; LETA 2008, p. 260).

## 5.9 Decisão

Esta etapa executa técnicas intrinsecamente relacionadas ao que um sistema de visão computacional está proposto a fazer. “O objetivo de um sistema de visão computacional é tomar decisões a partir da extração de informações do mundo real através de imagens.” (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008, p. 57).

Quando o processamento chega nessa etapa, temos um padrão de um objeto e não o objeto em si. Sendo assim, devem-se usar técnicas específicas para tentar buscar o que é o objeto numa base de conhecimento preexistente.

A descoberta de conhecimento em banco de dados (DCBD) é o processo de identificar nos dados, as informações previamente desconhecidas, potencialmente úteis e compreensíveis, visando melhorar o entendimento de um problema e os procedimentos de tomada de decisão. [...] A mineração de dados é a etapa em DCBD responsável pela seleção dos métodos a serem utilizados para localizar padrões nos dados [...]. (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008, p. 57).

O próximo capítulo será tratado técnicas específicas para a aplicação de um sistema de visão computacional para reconhecer sinais do alfabeto digital.

## 6 AUTOMATIZANDO A INTERPRETAÇÃO DE UM SINAL DE LIBRAS

Nas próximas sessões serão descritos as técnicas implementadas num programa de computador que utiliza a visão computacional para reconhecer sinais de Libras.

O modelo de imagem a ser analisado no trabalho é a 2D, pois os atributos relevantes para interpretação de um gesto numa imagem de mão serão o contorno e a posição dos dedos.

Para o desenvolvimento do programa do computador proposto, este trabalho se utiliza das funções de um *framework* de aplicações<sup>4</sup> especializado em computação gráfica, o *OpenCV*.

A biblioteca *OpenCV*®, desenvolvida pela Intel em 2000, permite manipulação de dados de imagens, manipulação de matrizes e vetores, desenvolvimento de rotinas de álgebra linear, estrutura de dados dinâmicas, desenvolvimento de algoritmos de processamento de imagem, análise estrutural, calibração de câmera, análise de movimento (*tracking*), reconhecimento de objetos, GUI básica e rotulagem de imagem. (BARBOZA, 2009, p. 2)

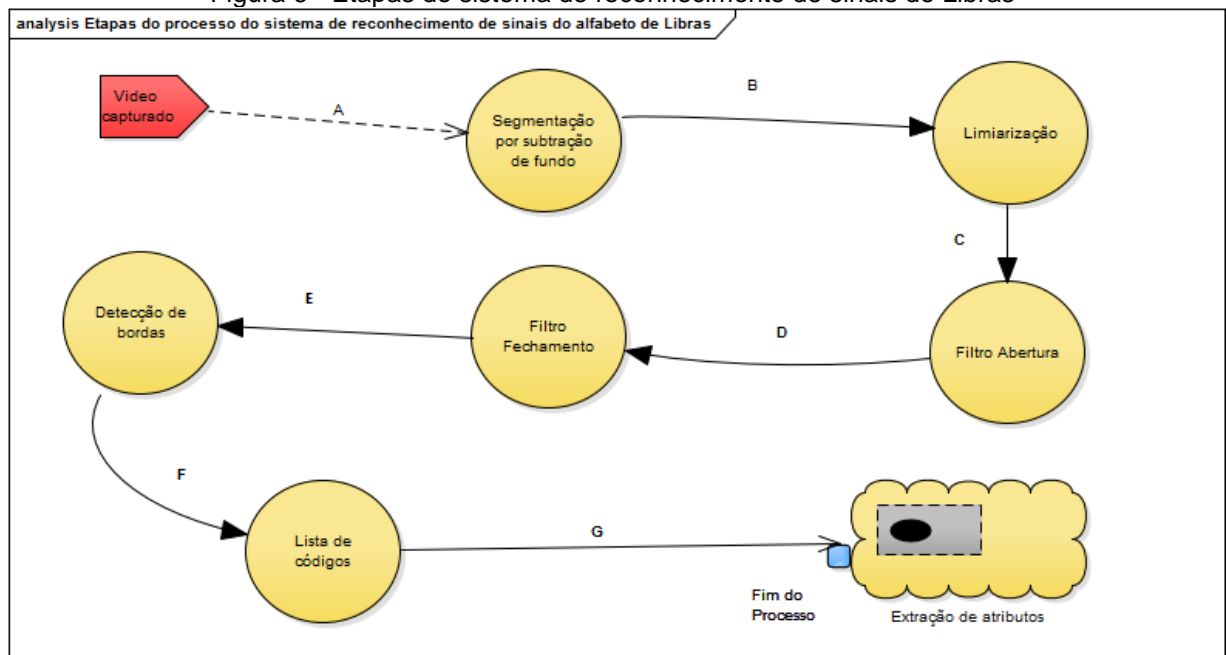
A opção por escolher uma biblioteca especializada em computação gráfica a desenvolver as funções do zero é devido ao fato que este trabalho é focado no estudo e aplicação de técnicas e conceitos de visão computacional. Além disso, a implementação do sistema está alinhada a boas práticas de desenvolvimento de software. “Engenharia de software orientada a reuso tem a vantagem óbvia de reduzir a quantidade de software a ser desenvolvido e, assim, reduzir os custos e riscos. Geralmente também proporciona a entrega mais rápida do software.” (SOMMERVILLE, 2011, p. 23).

Assim sendo, o uso de funções do *OpenCV* ocorre desde a etapa de aquisição de imagem. Na figura 6, são demonstrado as etapas envolvidas no desenvolvimento do programa.

---

<sup>4</sup> *Framewok* de aplicações é definido por Sommerville (2011) como uma estrutura genérica estendida para se criar uma aplicação ou subsistema mais específico.

Figura 6 - Etapas do sistema de reconhecimento de sinais de Libras



Fonte: Elaborada pelos autores.

(A): O vídeo é enviado ao método de segmentação.

(B): A imagem colorida é transformada em preto e branco.

(C): Aplicado filtro morfológico de Abertura.

(D): Aplicado filtro morfológico de Fechamento.

(E): É detectado as bordas.

(F): A borda da imagem é representada em uma lista de códigos.

(G): O sistema compara a lista de códigos da imagem com a base de dados e encontra a mais próxima para verificar se o gesto da imagem inicial é um sinal de Libras.

## 6.1 Equipamento para aquisição da imagem

Quanto ao sensor que captará a imagem será uma câmera de vídeo comum acoplada ao computador. Existem sensores específicos para captar e interpretar movimentos como o *kinect*<sup>5</sup> da empresa Microsoft®. Certamente a utilização deste

<sup>5</sup>*Kinect* é um periférico que tem o objetivo de reconhecer e analisar movimentos do corpo humano. Ele originalmente foi feito para o console de videogame Xbox, mas, o fabricante, a Microsoft Corporation disponibiliza um kit de desenvolvimento para que desenvolvedores possam criar programas de computador que fazem uso deste aparelho. Disponível em: <[http://download.microsoft.com/download/B/A/4/BA4D9FA4-7E68-447E-9C63-17C1C62850FB/kinect\\_en\\_nl-NL\\_pt-PT\\_es-ES.pdf](http://download.microsoft.com/download/B/A/4/BA4D9FA4-7E68-447E-9C63-17C1C62850FB/kinect_en_nl-NL_pt-PT_es-ES.pdf)>. Acesso em 26 set. de 2015.

aparelho traria maior eficiência e acertabilidade nos reconhecimentos de gestos. Entretanto, a utilização deste encapsularia conceitos e técnicas de processamento de imagens ao qual se pretende explorar no desenvolvimento deste trabalho.

## **6.2 Um tipo de sistema que não opera em tempo real**

Para sistemas de visão computacional, o correto é trocar a expressão “tempo real” por “fortemente acoplado” devido ao tempo de resposta deste tipo de software. Segundo Truyenque (2005), a mudança de expressão se justifica devido ao fato de haver um tempo de resposta da aplicação desde a aquisição, passando pelas fases de processamento de imagem até o reconhecimento desta. Ainda segundo o autor, este tempo é de latência do sistema e, pode variar de aplicação para aplicação.

Neste trabalho, para reduzir o tempo de processamento, é proposto logo na primeira fase aplicar um ambiente controlado para aquisição de imagem.

## **6.3 Importância de um ambiente controlado**

O ambiente controlado é definido neste trabalho como um local de iluminação artificial e com um fundo (que será usado para contraste de objeto) de cor sólida.

Num ambiente previamente conhecido, o processo inicial de aquisição da imagem traz um produto de saída de ótima qualidade para as etapas subsequentes.

O objetivo principal deste ambiente é reduzir a probabilidade de se encontrar sombras e ruídos. Estes podem ser incorporados erroneamente ao objeto a ser analisado, atrapalhando o reconhecimento de um eventual gesto válido em etapas subsequentes. “Imagens reais frequentemente sofrem degradações durante seu processo de aquisição, transmissão ou processamento. Essa degradação é normalmente chamada de ruído.” (PEDRINI; SCHARTZ, 2008, p. 27).

No programa de computador apresentado nesse trabalho não serão aplicados técnicas de realce ou restauração da imagem digital adquirida. Entretanto na etapa de segmentação que será vista na próxima sessão, serão aplicados filtros morfológicos para melhorar a imagem do objeto presente na imagem captada.

## 6.4 Segmentando a imagem de uma mão humana

Conforme visto em capítulos anteriores, o objetivo da segmentação é separar o objeto a ser analisado do fundo da imagem. Esse objeto é separado em nova imagem digital e esta será passada a próxima etapa de processamento.

Neste trabalho é aplicado o algoritmo KNN, acessado através da função *createBackgroundSubtractorKNN* do *OpenCV*.

Nas subseções seguintes será descrito a técnica para subtrair o fundo da imagem, limiarização e aplicação de melhorias nesta para passar a próxima etapa.

### 6.4.1 Descartando o fundo irrelevante

O objeto “mão humana” que conterà o gesto a ser interpretado será captado em um movimento dentro de um vídeo que contém um fundo estático. Sendo assim, podemos usar o fator movimento para facilitar o reconhecimento de objetos.

O movimento é uma poderosa pista usada por seres humanos e animais para a extração de um objeto de interesse de um fundo de detalhes irrelevantes. Em aplicações de imageamento, o movimento é originado de um deslocamento relativo entre o sistema sensor e a cena a ser observada [...]. (GONZALEZ; WOODS, 2000, p. 331).

A característica principal de algoritmos que utilizam segmentação de imagens por subtração de fundo é conseguir uma imagem de referência que representa o fundo estático. Para conseguir essa imagem de referência, o algoritmo utiliza o conceito de treinamento de máquina.

Basicamente, a subtração do fundo consiste em subtrair a imagem atual de outra usada como referência, ou seja, uma imagem contendo somente o fundo da cena e construída a partir de uma sequência de imagens com variações de iluminação durante um período de treinamento. A subtração de fundo é utilizada para capturar apenas objetos não estáticos (em movimento) e novos objetos em uma cena, que é um passo fundamental [...]. (BORBA 2014 apud SCHNEIDER 2007, p. 19).

### 6.4.2 Classe de algoritmos do tipo “vizinho mais próximo”

Estes tipos de algoritmos são referenciados com uma dupla de “N”, em referência ao inglês *Nearest Neighbor* (em português, vizinho mais próximo). O algoritmo *Nearest Neighbor* “[...] foi proposto por Cover e Hart em 1966. Essa



técnica é um método de estimação de densidade bastante simples conceitualmente e de fácil implementação.” (BEZERRA, 2006, p. 27). A expressão estimação de densidade representa o quão próximo uma amostra está próxima de uma classe de padrão previamente estabelecida.

Ainda segundo o autor, não é só sistemas de visão computacional que podem utilizar algoritmos do tipo “vizinho mais próximo”. Qualquer sistema que utilize classificação e busca de padrão em dados, pode valer deste tipo de algoritmo. Especificamente neste trabalho é utilizado a variante K-NN.

A amostra nesse trabalho é o objeto “mão” segmentada e as classes de padrão são as letras do alfabeto de Libras. O “K” é o número máximo de padrões que mais se aproximam da imagem captada.

Como será apresentado na sessão que trata o reconhecimento do objeto da imagem como um sinal válido de Libras, o K será aqui igual a 1. Isto é devido ao fato que uma imagem de um sinal de Libras não pode significar mais do que uma letra. Obviamente, em outras aplicações de VC, esta configuração pode mudar.

Nesta abordagem, em vez da determinação de uma função para descrever a distribuição de amostras que compõem o conjunto de treinamento, tais amostras são armazenadas para posterior tomada de decisão, possibilitando, dessa maneira, uma significativa redução do custo computacional durante a etapa de treinamento. Portanto quando  $x$  é apresentado ao classificador, às amostras previamente armazenadas são consideradas para efetuar sua rotulação. (PEDRINI; SCHARTZ, 2008, p. 421).

#### 6.4.3 Transformando a imagem colorida em uma imagem monocromática

O processo de binarização da imagem se dá através de técnicas de limiarização. E, segundo Pedrini e Scharztz (2008), consiste na classificação de todos os pixels de uma imagem em dois grupos, sendo branco ou preto baseado em um limite numérico de cor. Se um pixel estiver abaixo de certo limite, o algoritmo atribui o preto, caso contrário, o branco.

É utilizado neste trabalho a função *threshold* da biblioteca *OpenCV*, onde alimentamos parâmetros para definir que as cores da imagem resultante será preto e branco, como demonstrado o resultado na figura 7.

Figura 7 - Imagem segmentada e binarizada



Fonte: Extraída do programa desenvolvido.

Ainda dentro da etapa de segmentação, nesse programa desenvolvido, são aplicados filtros morfológicos para melhoria da imagem monocromática, na subseção seguinte serão descritos esses filtros.

#### 6.4.4 Aplicando filtros para refinamento

Para melhoramento dos aspectos da imagem da mão humana, é aplicado neste trabalho o filtro morfológico de abertura e fechamento. Estes utilizam internamente outros dois filtros morfológicos: erosão e dilatação.

[...] a dilatação expande uma imagem, enquanto a erosão a reduz. [...] A abertura geralmente suaviza o contorno de uma imagem, quebra istmos estreitos e elimina protrusões finas. O fechamento também tende a suavizar os contornos, mas, em oposição à abertura, geralmente funde as quebras em golfos finos, elimina pequenos buracos e preenche fendas em um contorno. (GONZALEZ; WOODS, 2000, p. 373).

Sobre os filtros morfológicos, Pedrini e Scharzt (2008) define como foram fundamentados. Os filtros morfológicos fazem parte da metodologia da morfologia

matemática. “A morfologia matemática consiste em uma metodologia para análise de imagens que permite a construção de operadores úteis para a descrição de objetos em imagens.” (PEDRINI; SCHARTZ, 2008, p. 327). Ainda sobre esses filtros, o autor enfatiza que são baseados na teoria dos conjuntos.

Sem se adentrar em explicações matemáticas, o filtro morfológico de abertura é o resultado da aplicação de uma dilatação sobre uma imagem que sofreu erosão. Enquanto que o filtro de fechamento é o resultado da aplicação do método de erosão sobre uma imagem dilatada. (PEDRINI; SCHARTZ, 2008, p. 350).

Neste trabalho, é utilizado a função *Opening* e em seguida *Closing* do *OpenCV*. Na figura 8 é demonstrado o resultado da aplicação dos filtros.



Fonte: Extraída do programa desenvolvido.

#### 6.4.5 Detectando bordas e contornos da mão

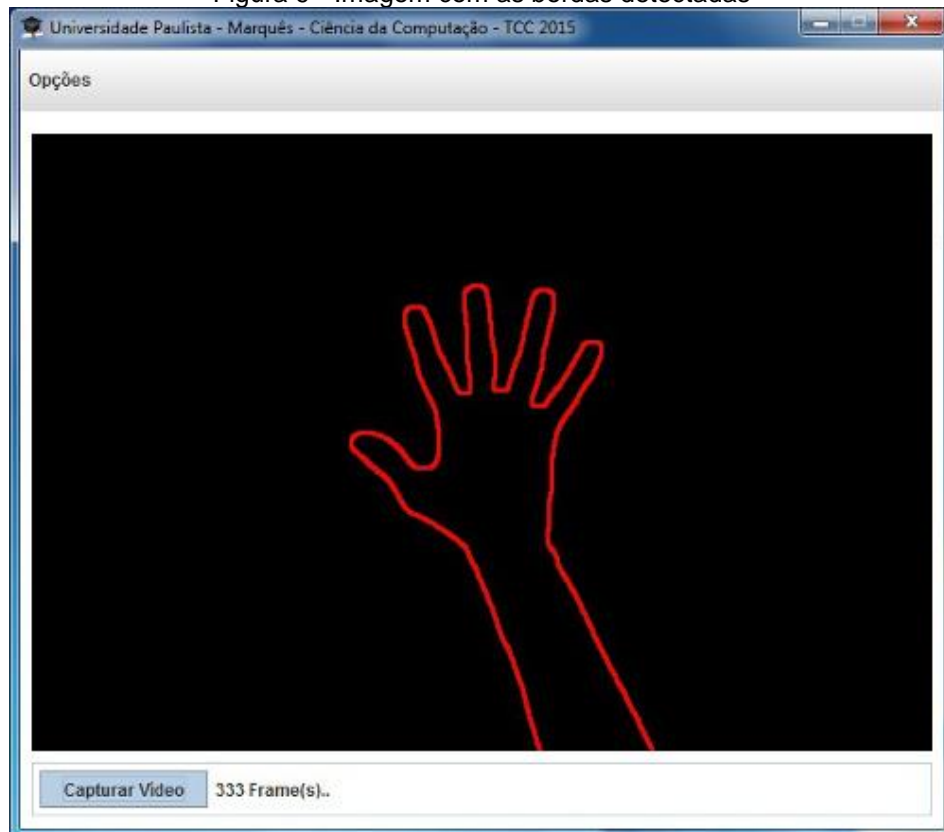
A imagem de entrada nesse processo é uma figura com duas cores. A abordagem desse trabalho é a partir da forma do objeto mão, conseguir localizar um padrão de letra que o represente, interpretando o gesto. Portanto, será aplicado

método para detectar as bordas, eliminando o resto da figura. Ou seja, a parte exterior e interior da mesma.

Sem descrever detalhes do funcionamento, será utilizado neste trabalho o método *Canny*, “[...] um método para detecção de bordas que procura otimizar a localização de pontos da borda na presença de ruído[...]” (PEDRINI; SCHARTZ, 2008, p. 166).

Para conseguir a silhueta de um objeto, inicialmente devem-se mapear as bordas internas e externas deste. “Uma borda é o limite ou a fronteira entre duas regiões com propriedades relativamente distintas de nível de cinza.” (PEDRINI; SCHARTZ, 2008, p. 153).

Figura 9 - Imagem com as bordas detectadas



Fonte: Extraída do programa desenvolvido.

No trabalho prático é utilizada a função *Canny* para detectar as bordas. E a etapa de segmentação termina na descoberta das bordas. Na próxima sessão será discutida a etapa de representação e descrição do objeto “mão”.

## 6.5 Representando os códigos do contorno da mão

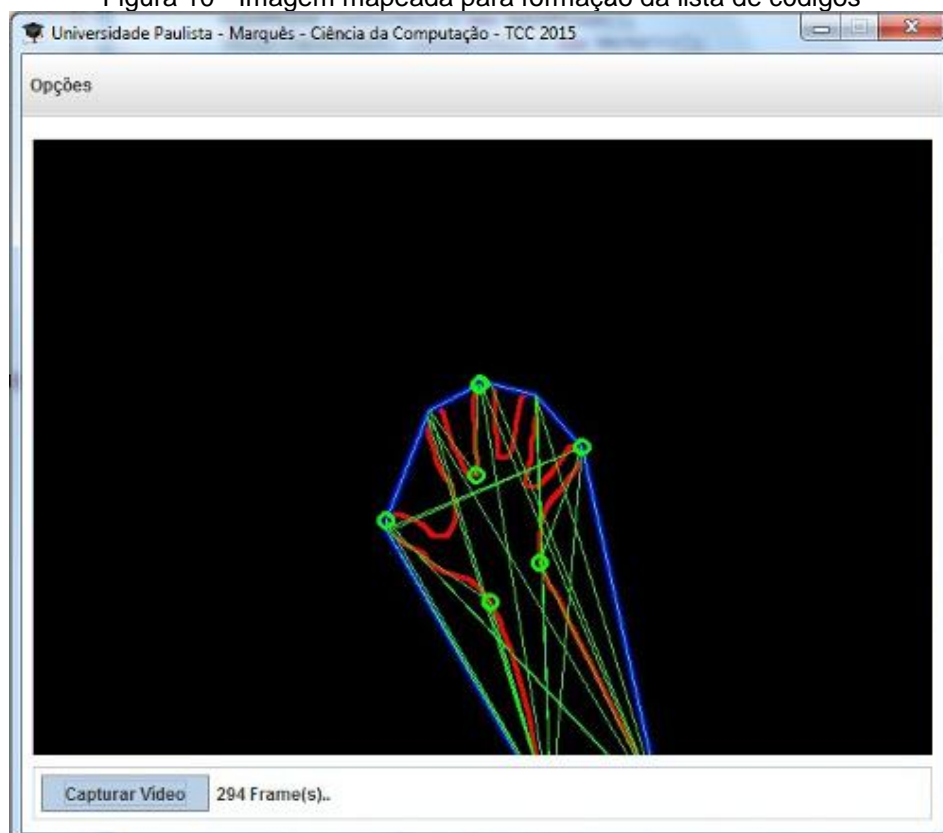
Nesta etapa do processamento, é utilizado o contorno da imagem para representar em uma estrutura de dados no computador.

As imagens mudam de ângulo e tamanho e, é necessária uma forma de representação relativa, sem depender do formato clássico do plano cartesiano.

Freeman (1961, 1974) propôs um esquema conhecido como código da cadeia para representar a borda de um objeto. Ao invés de armazenar as coordenadas absolutas dos pixels, a representação pelo código da cadeia utiliza a posição relativa entre pixels consecutivos da borda. (PEDRINI; SCHATZ, 2008, p. 250).

Sem maiores detalhes de funcionamento, são absorvido sequência de números que representa a borda da mão. Esta representação é armazenada numa estrutura de dados chamada de lista de códigos. Os códigos armazenados são referentes aos contornos das pontas dos dedos, início da mão e base dos dedos,

Figura 10 - Imagem mapeada para formação da lista de códigos



Fonte: Extraída do programa desenvolvido.

A imagem de uma mão, que tem seu contorno detectado em etapa anterior, possui um identificador que se chama lista de códigos. Este é criado pela função *FindContours* do *OpenCV*

A próxima etapa do processamento será o reconhecimento deste objeto como um sinal válido ou não de Libras.

## 6.6 Reconhecendo um gesto válido do alfabeto digital

Esta é a última etapa do sistema de visão computacional que tem o objetivo de verificar a lista de códigos de determinada imagem de um objeto identificado em etapas anteriores, possui uma representação próxima a um padrão preexistente na base de dados.

É retomada a execução do algoritmo K-NN da etapa de segmentação, mas, agora com o objetivo de identificar um padrão dentro do conjunto válido do alfabeto digital de Libras. Sendo que cada letra ou número é uma classe de padrões e, possui uma lista de cadeia de códigos que a representam. “Aqui, um padrão é uma descrição quantitativa ou estrutural de um objeto ou alguma outra entidade de interesse de uma imagem. [...] Uma classe de padrões é uma família de padrões que compartilhem algumas propriedades comuns.” (GONZALEZ; WOODS, 2000, p. 409).

O algoritmo para reconhecimento é bem direto. Vai receber como entrada a lista de código conseguida com a sequência de processamento até este momento. E, vai verificar na base de dados o padrão mais próximo. Se encontrar um padrão, identificará a classe e conseqüentemente o caractere que o representa. Caso contrário, retornará como “gesto não identificado” ao sistema.

As funções do *OpenCV* que são aplicados nesta fase do trabalho é a *Flann* (acrônimo do inglês *Fast Approximate Nearest Neighbor*) e *FlannBasedMatcher*. Como demonstrado em sessões anteriores, o parâmetro K é igual a 1. Ou seja, queremos verificar se existe pelo menos um padrão próximo para identificar se uma lista de código é válida ou não.

A invocação da função *Flann* da biblioteca *OpenCV* dentro da aplicação desenvolvida na linguagem Java não demonstraram o resultado esperado. O que inviabilizou a continuidade no desenvolvimento do *OpenCV* junto com o Java, pelo menos no aspecto de funções de busca de padrões em base de dados.

Foi retomada a pesquisa e foi verificado junto a própria documentação do *OpenCV* que a linguagem de programação Python possui uma alta compatibilidade na utilização com este framework.

Assim, está sendo desenvolvida outra aplicação em Python que tem o mesmo objetivo da aplicação inicial em Java, que é receber uma sequência de imagens e extrair a informação do gesto que o representa no alfabeto digital de Libras. A sequência de métodos utilizadas na linguagem Python é a mesma aplicada na linguagem Java. Ou seja, o desenvolvimento em Java não foi em vão, pois ajudou a trilhar o caminho para a acertabilidade em outra plataforma.

Conclui-se aqui o estudo dos conceitos e técnicas para o desenvolvimento de uma aplicação que utiliza conceitos de visão computacional para atuar no domínio do problema de reconhecimento de gestos do alfabeto digital de Libras.

No próximo capítulo é apresentada a conclusão do estudo apresentado nesta dissertação.

## 7 CONCLUSÃO

A contribuição principal deste trabalho foi demonstrar que a visão computacional é uma área inovadora e abre espaço para o desenvolvimento de excelentes projetos para facilitar a vida na sociedade.

Recorremos à literatura para descrever que o funcionamento do sistema de visão humana é mais complexo, eficiente e assertivo comparado ao de visão artificial. Além de capacidade de processamento e percepção do mundo exterior mais apurado há outro fator, a inteligência.

O fato do sistema de visão humana ser mais eficiente não deve ser encarado como motivo desencorajador para que se não se busque a criação de melhores algoritmos e soluções computacionais para processamento e análise de imagem. Foi descrito vários exemplos onde o uso da visão computacional se faz presente.

No contexto do trabalho, foi proposto a criação de um sistema de interpretação de sinais de um alfabeto de Libras. Na condução deste assunto, foram estudados as etapas, conceitos e técnicas específicas que buscassem a interpretação automatizada de uma letra, feita através de um gesto da mão humana.

Inicialmente foi utilizado a linguagem Java junto com o *framework OpenCV*. Não foi obtido sucesso no fechamento do processo, pois na última etapa, que buscava informações na base, o método *Flann* se mostrou problemático. Assim, foi iniciado uma nova aplicação utilizando o mesmo *framework OpenCV* compilado para o ambiente Python.

Ao implementar o algoritmo de aquisição de imagem, tratamentos através de filtros e interpretação da lista de códigos, conclui-se que esta interpretação através de mão limpa é um sistema demasiadamente complexo, que exige tratamentos especializados mais complexos, tornando possível a separação da mão do resto do objeto obtido através dos métodos, além disso, condições de iluminação prejudica e muito, o processo de obtenção do objeto através do método *threshold*, resultando em granulações na imagem, gerando erros em filtros como o *ConvexityDefects*, por exemplo.

Outro problema na obtenção da imagem utilizando apenas as mãos, é o tempo de calibração do método *BackgroundSubtractor*, sendo muito maior do que o tempo útil de vida deste, problema que não acontece quando é utilizado o método *threshold* para separar o fundo do objeto (com uma luva específica, por exemplo).



É esperado que este texto sirva como inspiração no desenvolvimento de outras soluções em visão computacional, bem como, no aprimoramento e criação de novos algoritmos de processamento e análise de imagens digitais.

Uma sugestão de trabalho futuro é o desenvolvimento de um sistema de visão computacional para interpretar a linguagem Libras em si. É um trabalho que necessitaria no mínimo de estudos de neurolinguística e inteligência artificial. Isso devido ao fato da linguagem Libras ser de comunicação humana como qualquer outra. Automatizar a interpretação de uma linguagem gestual dentro de todo o contexto da situação que se encontra determinada conversação seria um grande desafio para os cientistas da computação.

## REFERÊNCIAS

ANATOMIA, **O olho Humano**. Disponível em: <<http://www.laboratoriorigor.com.br/anatomia.html>>. Acesso em: 6 set. 2015.

AZEVEDO, Eduardo; CONCI, Aura. **COMPUTAÇÃO GRÁFICA: Geração de imagens**. 11. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2003.

BARBOZA, Daniel Ponciano dos Santos. **Estudo da Biblioteca OpenCV**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001999.pdf>>. Acesso em: 21 de set. 2015.

BEZERRA, Miguel. **MÉTODOS BASEADOS NA REGRA DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO PARA RECONHECIMENTO DE IMAGENS**. Disponível em: <<http://tcc.ecomp.poli.br/20052/MiguelEugenio.pdf>>. Acesso em: 20 de set. 2015.

BRASIL. **Decreto nº 5.626, de 22 de dezembro de 2005**. Regulamenta a Lei nº 10.436, de 24 de abril de 2002, que dispõe sobre a Língua Brasileira de Sinais – Libras e o artigo da Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2004-2006/2005/decreto/D5626.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2004-2006/2005/decreto/D5626.htm)>. Acesso em: 24 ago. 2015.

BRASIL, **Lei nº 10.436 de 24 de abril de 2002**. Dispõe sobre a Língua Brasileira de Sinais – Libras e dá outras providências. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/lei10436.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2015.

BRASIL, **Lei nº 10.098 de 19 de dezembro de 2000**. Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade a pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L10098.htm#art18](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L10098.htm#art18)>. Acesso em: 25 de ago. 2015.

BUENO, Marcelo Lemes. **Deteção de bordas através do algoritmo Canny**. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/~visao/2000/Bordas/index.html>>. Acesso em: 22 de set. 2015.

CONCI, Aura; AZEVEDO, Eduardo; LETA, Fabiana R. **COMPUTAÇÃO GRÁFICA: Teoria e Prática**. 2ª. Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

DANTAS, Paulo Felipe dos Santos. **Lousa digital baseada em visão computacional**. Ceará, 2015. Disponível em: <<http://www.repositoriobib.ufc.br/00001d/00001d26.pdf>>. Acesso em: 21 de set. 2015.

FELIPE, Tanya A. **Libras em Contexto: Curso Básico: Livro do Estudante**. 8. ed. Rio de Janeiro: WalPrint Gráfica e Editora, 2007.

GERRIG, Richard; ZIMBARDO, Philip. **A psicologia e a vida**. 16ª. Edição. São Paulo: Artmed, 2004.

GONZALEZ, Rafael, WOODS, Richard. **Processamento de imagens digitais**. 1ª edição. São Paulo: Blucher, 2000.

INES. **História do INES**. 2015. Disponível em: <<http://www.ines.gov.br/index.php/historia-ines>>. Acesso em: 27 ago. 2015.

PEDRINI, Hélio; SCHWARTZ, William. **Análise de imagens digitais: Princípios, algoritmos e aplicações**. São Paulo: Thomson Learning, 2008.

RODRIGUES, Telma Tietre. **Libras: Língua brasileira de sinais**. São Paulo, 2007. Disponível em: <[http://portal.estacio.br/media/1868413/cartilha\\_lingua\\_brasileira\\_de\\_sinais.pdf](http://portal.estacio.br/media/1868413/cartilha_lingua_brasileira_de_sinais.pdf)>. Acesso em: 30 ago. 2015.

SCURI, Antônio. **Fundamentos da Imagem Digital**. Rio de Janeiro: Tecgraf/PUC-RIO, 2002. Disponível em: <<http://www.inf.ufes.br/~thomas/graphics/www/apostolsCIV2801ScurimgDigital.pdf>>. Acesso em 13. Ago de 2015.

SILVA, Luiza. **Uma Aplicação de Árvores de Decisão, Redes Neurais e KNN para a Identificação de Modelos ARMA Não-Sazonais e Sazonais**. Disponível em: <[http://www.maxwell.vrac.pucrio.br/Busca\\_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=7587@1](http://www.maxwell.vrac.pucrio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=7587@1)>. Acesso em: 20 de set. 2015.

SOMMERVILLE, Ian. **Engenharia de Software**. 9.a edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

TALK, Hand. **Sessão de perguntas e respostas do aplicativo Hand Talk**. Disponível em: <<http://www.handtalk.me/faq>>. Acesso em: 30 ago. 2015.

TRUYENQUE, Michel. **Uma aplicação de visão computacional que utiliza gestos da mão para interagir com o computador**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <[http://www.tecgraf.pucrio.br/publications/diss\\_2005\\_alain\\_aplicacao\\_visao\\_computacional.pdf](http://www.tecgraf.pucrio.br/publications/diss_2005_alain_aplicacao_visao_computacional.pdf)>. Acesso em: 21 set. 2015.

VALIANTE, Juliana Brazolin Gomes. **Língua Brasileira de Sinais: Reflexões sobre a sua oficialização como instrumento de inclusão dos surdos**. Campinas, 2009. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000440502>>. Acesso em: 23 ago. 2015.